

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

23. 3. 2004

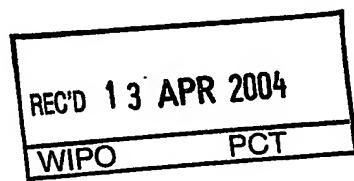
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2003年 3月 24日

出願番号  
Application Number: 特願 2003-081251  
[ST. 10/C]: [JP 2003-081251]

出願人  
Applicant(s): TDK株式会社

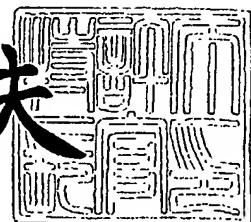


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 3月 2日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 99P04527  
【提出日】 平成15年 3月24日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G11C 11/15  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内  
【氏名】 江▲崎▼ 城一朗  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内  
【氏名】 柿沼 裕二  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内  
【氏名】 古賀 啓治  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内  
【氏名】 住田 成和  
【特許出願人】  
【識別番号】 000003067  
【氏名又は名称】 ティーディーケイ株式会社  
【代理人】  
【識別番号】 100109656  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 三反崎 泰司

**【代理人】**

【識別番号】 100098785

**【弁理士】**

【氏名又は名称】 藤島 洋一郎

**【手数料の表示】**

【予納台帳番号】 019482

【納付金額】 21,000円

**【提出物件の目録】**

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気メモリデバイスおよびセンスアンプ回路、ならびに磁気メモリデバイスの読み出方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 外部磁界によって磁化方向が変化する感磁層をそれぞれ有する複数の磁気抵抗効果素子を備え、1つの記憶セルが一对の前記磁気抵抗効果素子を含むように構成された磁気メモリデバイスであって、

この一对の磁気抵抗効果素子に読み出電流を供給する読み出線対と、前記読み出線対を流れる一对の読み出電流の差に基づいて前記記憶セルから情報を読み出すセンスアンプ回路とを備え、

前記センスアンプ回路が、

前記読み出線対ごとに設けられた差動スイッチ対と、

各差動スイッチ対と電源との間に設けられたバイアス抵抗器対と、

複数の前記差動スイッチ対について共通に設けられ、各差動スイッチ対を流れる一对の読み出電流の和を一定化する定電流回路と

を含むことを特徴とする磁気メモリデバイス。

【請求項2】 前記読み出線対と電源との間に電流電圧変換用抵抗器対を備え、前記電流電圧変換用抵抗器対の前記電源側とは反対側の端子が、前記センスアンプ回路の前記差動スイッチ対に接続されている

ことを特徴とする請求項1に記載の磁気メモリデバイス。

【請求項3】 複数の前記差動スイッチ対の各々と前記定電流回路との間にそれぞれ設けられ、前記複数の差動スイッチ対のうちのいずれか1つを選択する第1のスイッチと、

前記電源と前記読み出線対との間に設けられ、前記読み出線対に読み出電流を供給するか否かを選択する一对の第2のスイッチと

をさらに備えたことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の磁気メモリデバイス。

【請求項4】 前記第1および第2のスイッチは、前記複数の差動スイッチ対のうちのいずれか1つを選択するための第1の選択信号に基づいて開閉制御さ

れることを特徴とする請求項3に記載の磁気メモリデバイス。

【請求項5】 前記第1のスイッチは、前記複数の差動スイッチ対のうちのいずれか1つを選択するための第1の選択信号と、読出モードであることを示す第2の選択信号とに基づいて開閉制御され、

前記第2のスイッチは、前記第1の選択信号に基づいて開閉制御されることを特徴とする請求項3に記載の磁気メモリデバイス。

【請求項6】 前記定電流回路は、バンドギャップリファレンスを利用して構成されている

ことを特徴とする請求項1ないし請求項5のいずれか一項に記載の磁気メモリデバイス。

【請求項7】 前記定電流回路は、

電流制御用トランジスタと、

前記電流制御用トランジスタのベースと接地との間に接続されたダイオードと

前記電流制御用トランジスタのエミッタと接地との間に接続された電流制御用抵抗器と

を含んで構成されていることを特徴とする請求項6に記載の磁気メモリデバイス。

【請求項8】 前記バイアス抵抗器対もまた前記複数の差動スイッチ対について共通に設けられている

ことを特徴とする請求項1ないし請求項7のいずれか一項に記載の磁気メモリデバイス。

【請求項9】 前記一对の第2のスイッチ、前記電流電圧変換用抵抗器対および前記差動スイッチ対が、同一の領域内に集積配置されている

ことを特徴とする請求項3ないし請求項8のいずれか1項に記載の磁気メモリデバイス。

【請求項10】 前記一对の第2のスイッチ、前記一对の電流電圧変換用抵抗器および前記差動スイッチ対が、それぞれ、対称な回路を構成している

ことを特徴とする請求項9に記載の磁気メモリデバイス。

【請求項 1 1】 複数の第1の書込線と、前記複数の第1の書込線にそれぞれ交差するように延びる複数の第2の書込線とをさらに備え、

前記複数の磁気抵抗効果素子の各々が、

前記感磁層を含み、積層面に垂直な方向に前記読出電流が流れるように構成された積層体と、

前記積層体の一方の面側に、前記積層面に沿った方向を軸方向とするように配設されると共に、前記第1および第2の書込線によって貫かれるように構成された環状磁性層と

を含むことを特徴とする請求項1ないし請求項10のいずれか一項に記載の磁気メモリデバイス。

【請求項 1 2】 前記第1および第2の書込線の双方を流れる電流により誘導される磁界によって、前記一对の磁気抵抗効果素子における各感磁層の磁化方向が互いに反平行となるように変化し、前記記憶セルに情報が記憶される

ことを特徴とする請求項1ないし請求項11のいずれか一項に記載の磁気メモリデバイス。

【請求項 1 3】 外部磁界によって磁化方向が変化する感磁層をそれぞれ有する複数の磁気抵抗効果素子と、一对の前記磁気抵抗効果素子に読出電流を供給する読出線対とを備え、1つの記憶セルが一对の前記磁気抵抗効果素子を含むように構成された磁気メモリデバイス、に適用されるセンスアンプ回路であって、前記読出線対ごとに設けられた差動スイッチ対と、

各差動スイッチ対と電源との間に設けられたバイアス抵抗器対と、

複数の前記差動スイッチ対について共通に設けられた定電流回路とを備え、

前記読出線対を流れる一对の読出電流の差に基づいて前記記憶セルから情報を読み出す

ことを特徴とするセンスアンプ回路。

【請求項 1 4】 外部磁界によって磁化方向が変化する感磁層をそれぞれ有する複数の磁気抵抗効果素子と、一对の前記磁気抵抗効果素子に読出電流を供給する読出線対とを備え、1つの記憶セルが一对の前記磁気抵抗効果素子を含むよ

うに構成された磁気メモリデバイス、に適用される読み出方法であって、前記読み出線対ごとに差動スイッチ対を設け、各差動スイッチ対と電源との間にバイアス抵抗器対を設け、複数の前記差動スイッチ対について共通に定電流回路を設け、前記読み出線対を流れる一対の読み出電流の差に基づいて前記記憶セルから情報を読み出すことを特徴とする磁気メモリデバイスの読み出方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

###### 【発明の属する技術分野】

本発明は、磁性薄膜メモリ素子を用いて構成される磁気メモリデバイス、および、磁気メモリデバイスからの情報の読み出しに適用するセンスアンプ回路、ならびに磁気メモリデバイスにおける情報の読み出方法に関する。

##### 【0002】

###### 【従来の技術】

従来より、コンピュータやモバイル通信機器などの情報処理装置に用いられる汎用メモリとして、DRAMやSRAMなどの揮発性メモリが使用されている。揮発性メモリは、常に電流を供給しておかなければ全ての情報が失われる。そのため、情報の記憶には不揮発性メモリを別途設ける必要があり、フラッシュEEPROMやハードディスク装置などが用いられている。これら不揮発性メモリについては、情報処理の高速化に伴い、高速化が重要な課題となっている。また、近年のいわゆるユピキタスコンピューティングを目指した情報機器開発という別の側面からも、そのキーデバイスとして高速な不揮発性メモリの開発が強く求められている。

##### 【0003】

不揮発性メモリの高速化に有効な技術としては、MRAM (Magnetic Random Access Memory) が知られている。MRAMは、マトリクス状に配列された個々の記憶セルが磁気素子で構成されている。現在実用化されているMRAMは、巨大磁気抵抗効果 (GMR : Giant Magneto-Resistive) を利用したものである。

GMRとは、互いの磁化容易軸を揃えて配設された2つの強磁性層が積層された積層体において、積層体の抵抗値が、各強磁性層の磁化方向が磁化容易軸に沿って平行な場合に最小、反平行の場合に最大となる現象である。実際のGMR素子では、2つの強磁性層は磁化方向が固定されている固定層と、外部磁界により磁化方向が変化可能な自由層（感磁層）とからなり、非磁性層を介して積層されている。各記憶セルは、この2状態を「0」、「1」の2値情報に対応させて情報を記憶し、情報に対応させた抵抗の違いを電流または電圧の変化として検出することによって情報を読み出す仕組みになっている。

#### 【0004】

また、強磁性トンネル効果（TMR：Tunneling Magneto-Resistive）を利用した磁気素子では、GMR素子に比べて抵抗変化率を格段に大きくすることができる。TMRとは、極薄の絶縁層を挟んで積層された2つの強磁性層（磁化方向が固定された固定層と、磁化方向が変化可能な感磁層すなわち自由層）において、互いの磁化方向の相対角度により絶縁層を流れるトンネル電流値が変化する現象である。すなわち、磁化方向が平行である場合にトンネル電流は最大（素子の抵抗値は最小）となり、反平行の場合、トンネル電流は最小（素子の抵抗値は最大）となる。かくして、TMR-MRAMでは、記憶情報の書き込みはGMR-MRAMと同様に行われ、情報の読み出しは、絶縁層に対し層面に垂直方向に電流を流し、強磁性層間の相対的な磁化方向（平行または反平行）の違いを出力電流値ないしセル抵抗値の差として検出する方法が採られる。

#### 【0005】

TMR素子の具体例としては、CoFe／Al oxide／CoFeの積層構造が知られるが、その抵抗変化率は40%以上にも及ぶ。また、TMR素子は抵抗が高く、MOS型電界効果トランジスタ（MOSFET：Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor）などの半導体デバイスとのマッチングが取り易いとされている。こうした利点から、TMR-MRAMは、GMR-MRAMと比較して高出力化が容易であり、記憶容量やアクセス速度の向上が期待されている。

#### 【0006】

そのセルアレイ構造としては、データ線上に複数のTMR素子を並列接続したうえで、選択用の半導体素子を、各々のTMR素子に対応させて配置するものやデータ線ごとに配置するものが提案されている。また、行データ線、列データ線を用いてTMR素子をマトリクス状に配置し、各データ線ごとに選択用トランジスタを配設したものも提案されている。

#### 【0007】

このうち、読み出し時の消費電力効率の面で最も優れた特性を有しているのは、各々のTMR素子に対して選択用半導体素子を配置する構造である。ただし、各半導体素子の特性にばらつきが生じている場合、それに起因した雑音が無視できない。加えて、データ線に結合した雑音、センスアンプの特性ばらつきによる雑音、電源回路から回り込む周辺回路の雑音も考慮すると、記憶セルの出力電圧のS/N比は、数dB程にしかならない可能性がある。

#### 【0008】

そのため、読み出し出力のS/N比を向上すべく、TMR-MRAMのセルアレイには次のような改良がなされてきた。よく用いられるのは、選択した一つの記憶セルの出力電圧Vを参照電圧V<sub>ref</sub>と比較し、その差分電圧V<sub>sig</sub>を差動増幅する方法である。差動増幅の目的は、第1に、記憶セルが接続されるデータ線対に生じる雑音を除去することであり、第2に、センス線駆動用またはセル選択用の半導体素子の特性ばらつきによる出力電圧のオフセットを除去することである。しかしながら、参照電圧V<sub>ref</sub>の発生回路は、ダミーセルや半導体素子を用いた回路によって実現され、この回路と記憶セルとの間でも素子の特性ばらつきは存在するため、出力電圧のオフセットを完全に除去することは原理的に不可能である。

#### 【0009】

これを解決するものとしては、1対のTMR素子によって記憶セルを構成し、これら対をなす素子からの出力を差動増幅する方法が一般に広く知られている。この方法においては、対をなすTMR素子それぞれの感磁層の磁化方向が、常に、互いに反平行となるように書き込みがなされる。すなわち、一方の素子では感磁層の磁化と固定層の磁化が平行、他方の素子では両層の磁化が互いに反平行と

なるように相補的に書き込みを行い、2つの素子の出力を差動増幅して読み出すことで同相雑音を除去し、S/N比を向上させるというものである。そのような差動増幅型の回路構成は、特許文献1や特許文献2、非特許文献1などにおいて開示されている。

#### 【0010】

例えば、特許文献1や特許文献2に記載されている技術では、記憶セルを構成する第1のTMR素子と第2のTMR素子は、それぞれの一端が一対の第1、第2のデータ線に別々に接続され、他端は共に同一のセル選択用半導体素子を介してビット線に接続されるようになっている。ワード線は、セル選択用半導体素子に接続される。情報の読み出しは、第1のデータ線と第2のデータ線とを等電位に保ちつつビット線と第1、第2のデータ線の各々との間に電位差を与え、第1、第2のデータ線に流れる電流量の差分値を出力とすることでなされる。

#### 【0011】

##### 【特許文献1】

特開2001-236781号公報

##### 【特許文献2】

特開2001-266567号公報

##### 【非特許文献1】

ISSCC 2000 Digest paper TA7.2

#### 【0012】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、こうした差動増幅方式の全般において、対をなすTMR素子間の抵抗値のばらつきが問題となっていた。TMR素子には製造プロセスで生じる抵抗ばらつきがあり、これに起因する電流誤差は避けられない。そのため、否応なく出力信号のS/N比が低下する結果となっていた。

#### 【0013】

また、上記の配線構成例についていえば、安定した読み出し信号出力を得るには、第1、第2の各データ線に接続されたTMR素子間の抵抗ばらつき、および選択用半導体素子間の特性ばらつきを十分に抑制する必要がある。しかしながら

、この場合には、第1のデータ線と第2のデータ線に等電位の電圧差を与えるように構成されているために、読出電流は上記ばらつきに応じて変動してしまう。つまり、この構成は、原理的に上記のばらつきを抑制できるようになってはおらず、これらのはらつきによる雑音に対し万全な方策をとることは極めて難しいという問題があった。

#### 【0014】

こうした理由により、従来のMRAMでは、読出信号のS/N比は十分に改善されたとは言えなかった。また、その結果、素子の抵抗変化率がおよそ40%に達するにも関わらず、実際のTMR-MRAMにおいては十分大きな信号出力が得られていなかつたのである。このように、現状のメモリ構造のままでは、動作安定性の点ですでに問題を抱えているだけでなく、さらなるメモリの高密度化に十分対応できないことが想定される。また、消費電力の低減や、駆動回路の省スペース化もまた、重要な課題となっている。

#### 【0015】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、S/N比が高い読み出し信号出力を得ることができると共に、消費電力と回路スペースの削減が可能な磁気メモリデバイスおよびセンスアンプ回路、ならびに磁気メモリデバイスの読出方法を提供することにある。

#### 【0016】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明の磁気メモリデバイスは、外部磁界によって磁化方向が変化する感磁層をそれぞれ有する複数の磁気抵抗効果素子を備え、1つの記憶セルが一対の磁気抵抗効果素子を含むように構成された磁気メモリデバイスであって、この一対の磁気抵抗効果素子に読出電流を供給する読出線対と、読出線対を流れる一対の読出電流の差に基づいて記憶セルから情報を読み出すセンスアンプ回路とを備え、センスアンプ回路が、読出線対ごとに設けられた差動スイッチ対と、各差動スイッチ対と電源との間に設けられたバイアス抵抗器対と、複数の差動スイッチ対について共通に設けられ、各差動スイッチ対を流れる一対の読出電流の和を一定化する定電流回路とを含むものである。

### 【0017】

なお、本発明の磁気メモリデバイスにおいては「接続され」とは、少なくとも電気的に接続された状態を指し、物理的に直接に接続されていることを必ずしも条件としない。また、本発明において、「電源」とは、回路動作に必要な電流ないし電圧の供給源であり、磁気メモリデバイスの内部電源ラインを意味する。また、「差動スイッチ対」という場合には、例えば、一方のスイッチ素子に  $160 \mu A$  が流れ他方のスイッチ素子に電流が流れないとといった、完全にオンーオフの関係となる差動動作を行うものだけを指すのではない。これにとどまらず、動作時に生じる相対的な 2 状態、例えば、一方のスイッチ素子に  $110 \mu A$  が流れ他方のスイッチ素子に  $50 \mu A$  の電流が流れるといった、一方により多くの電流が流れ、他方はより少ない電流しか流せない中間状態において差動動作するものも意味する。

### 【0018】

この磁気メモリデバイスでは、記憶セルを構成する一対の磁気抵抗効果素子の各々に対し、その和が常に一定であるような一対の読出電流が供給され、これら読出電流の差分に基づいて記憶セルから情報が読み出される。この方式によれば、読出電流は差動出力されるため、読出線の各々に生じる雑音や、磁気抵抗効果素子ごとの出力値に含まれるオフセット成分が相殺される。また、その際に、読出電流の差分は、センスアンプ回路により電圧差として差動増幅される。センスアンプ回路は、差動スイッチ対、バイアス抵抗器対を含む部分については読出線ごとに複数設けられるが、読出電流の総和を一定化するための定電流回路を共用とすることから、定電流回路の特性ばらつきに起因するセンスアンプ出力のばらつきが抑えられる。

### 【0019】

この磁気メモリデバイスは、より具体的には、読出線対と電源との間に電流電圧変換用抵抗器対を備え、電流電圧変換用抵抗器対の電源側とは反対側の端子が、センスアンプ回路の差動スイッチ対に接続されていることが好ましい。電源から一対の読出線のそれぞれに供給される読出電流は、電流電圧変換用抵抗器対における電圧降下により、電圧出力として取り出され、センスアンプ回路に入力さ

れる。電流電圧変換用抵抗器は、大きな出力値を得るために、磁気抵抗効果素子の抵抗値よりも大きい抵抗値を有することが望ましい。

### 【0020】

また、センスアンプ回路においては、複数の差動スイッチ対の各々と定電流回路との間には、複数の差動スイッチ対のいずれか1つを選択する第1のスイッチと、電源と読出線対との間に設けられ、読出線対に読出電流を供給するか否かを選択する一対の第2のスイッチとが設けられていることが好ましい。すなわち、第1のスイッチにより選択されたセンスアンプ回路でのみ差動スイッチ素子一定電流回路間が導通して動作可能となり、また、一対の第2のスイッチにより選択された読出線対にのみ読出電流が供給される。これら第1および第2のスイッチが、複数の差動スイッチ対のうちいずれか1つを選択するための第1の選択信号に基づいて開閉制御されると、読み出し対象の記憶セルを含むビット列が選択されると共に、選択されたビット列に対応するセンスアンプ回路が動作対象に選ばれるようになる。さらに、第1のスイッチが、複数の差動スイッチ対のうちのいずれか1つを選択するための第1の選択信号と、読出モードであることを示す第2の選択信号に基づいて開閉制御され、第2のスイッチが、第1の選択信号に基づいて開閉制御されるようにすれば、情報は、読出モード時にのみ出力され、書込モード時には出力されないように制御される。

### 【0021】

定電流回路は、バンドギャップリファレンスを利用して構成することができ、例えば、電流制御用トランジスタと、電流制御用トランジスタのベースと接地との間に接続されたダイオードと、電流制御用トランジスタのエミッタと接地との間に接続された電流制御用抵抗器とを含んで構成することができる。

また、こうした構成の定電流回路において、トランジスタのベースを、トランジスタを遮断状態にし得る電圧レベルの制御信号が入力される定電流回路制御端子に接続すると、定電流回路制御端子に入力される制御信号によって、この定電流回路を共用するセンスアンプ回路のすべてを動作可能なアクティブ状態か、休止状態（スタンバイ状態）かのいずれかの状態に制御することができる。ここでいうスタンバイ状態とは、回路系の動作を完全に停止させるものではなく、次に

選択されるまでは動作しない一旦休止の状態を意味する。

#### 【0022】

なお、バイアス抵抗器対もまた、複数の差動スイッチ対について共通に設けることができ、この場合、バイアス抵抗器対の特性ばらつきの影響がセンスアンプ出力より排除されるために好ましい。

#### 【0023】

さらに、この磁気メモリデバイスは、一対の第2のスイッチ、電流電圧変換用抵抗器対および差動スイッチ対が、同一の領域内に集積配置されたものであることが、より好ましい。すなわち、センスアンプ回路が形成される領域内に、一対の第2のスイッチ、電流電圧変換用抵抗器対が形成される。これにより、対をなす素子の各々は、近接して配置されることから、駆動中の温度変化がほぼ等しく、互いの特性値にずれが生じることが防止される。また、これらの一対の第2のスイッチ、電流電圧変換用抵抗器対および差動スイッチ対が、それぞれ、対称な回路を構成していると、適正な差動出力が得られるようになり、好ましい。なお、ここでいう「対称な」とは、回路を構成する素子のうち、対をなす素子同士の電気的特性が略等しいことを意味する。

#### 【0024】

こうした磁気メモリデバイスは、複数の第1の書込線と、複数の第1の書込線にそれぞれ交差するように延びる複数の第2の書込線とを備えたものであって、複数の磁気抵抗効果素子の各々が、感磁層を含み、積層面に垂直な方向に読出電流が流れるように構成された積層体と、積層体の一方の面側に積層面に沿った方向を軸方向とするように配設されると共に、第1および第2の書込線によって貫かれるように構成された環状磁性層とを含んでいることが望ましい。ここで、「環状磁性層」の「環状」とは、少なくとも内部を貫通した第1および第2の書込線からみたときに、それぞれの周囲を磁気的かつ電気的に連続して完全に取り囲み、第1または第2の書込線を横切る方向の断面が閉じている状態を示している。よって、環状磁性層は、磁気的かつ電気的に連続である限りにおいて絶縁体が含有されることを許容する。製造工程において発生する程度の酸化膜を含んでいてもよいのは無論である。「軸方向」とは、この環状磁性層単体に注目したとき

の開口方向、すなわち内部を貫通する第1および第2の書込線の延在方向を指す。さらに、「積層体の一方の面側に、…配設され」とは、環状磁性層が積層体の一方の面の側に積層体とは別体として配設される場合のほか、環状磁性層が積層体の一部を含むように配設される場合をも含むという趣旨である。

#### 【0025】

磁気抵抗効果素子の各々は、環状磁性層を貫く第1および第2の書込線の双方を流れる電流により生ずる磁界によって情報が書き込まれる。その際、書込線に電流を流すことによって環状磁性層に閉磁路が形成されるために、感磁層の磁化反転が効率的に行われ、確実に情報が書き込まれる。こうして書き込まれた情報からは、読出時に、より大きな信号出力が得られる。この場合に、感磁層と環状磁性層とが電気的に接続されていると、感磁層に流した読出電流は環状磁性層を介して読出線へと流れるため、第1および第2の書込線を感磁層に近接して配置することができる。こうした場合、書込線に流す書込電流の大きさを小さくすることができ、効率よく書き込みが行われる。

#### 【0026】

また、この磁気メモリデバイスは、第1および第2の書込線の双方を流れる電流により誘導される磁界によって、一対の磁気抵抗効果素子における各感磁層の磁化方向が互いに反平行となるように変化し、記憶セルに情報が記憶されることが好ましい。このとき、対をなす磁気抵抗効果素子は、一方が低抵抗状態ならば必ず他方が高抵抗状態となり、このような2状態に2値情報が対応する。記憶された情報は、これら一対の磁気抵抗効果素子のそれぞれに流す読出電流の差分に基づいて記憶セルから読み出される。なお、ここでいう「磁化が互いに反平行」とは、互いの磁化方向、すなわち磁性層内の平均磁化のなす角度が厳密に180度である場合のほか、製造上生ずる誤差や完全に単軸化されなかったが故に生じる程度の誤差等に起因して互いの磁化のなす角度が180度から所定角度だけ外れている場合も含む。

#### 【0027】

また、本発明のセンスアンプ回路は、外部磁界によって磁化方向が変化する感磁層をそれぞれ有する複数の磁気抵抗効果素子と、一対の磁気抵抗効果素子に読

出電流を供給する読出線対とを備え、1つの記憶セルが一対の磁気抵抗効果素子を含むように構成された磁気メモリデバイス、に適用されるセンスアンプ回路であって、読出線対ごとに設けられた差動スイッチ対と、各差動スイッチ対と電源との間に設けられたバイアス抵抗器対と、複数の差動スイッチ対について共通に設けられた定電流回路とを備え、読出線対を流れる一対の読出電流の差に基づいて記憶セルから情報を読み出すものである。

#### 【0028】

本発明のセンスアンプ回路では、読出電流の差分が電圧差として差動増幅され、その際には複数のセンスアンプ間で共用とした定電流回路において読出電流の総和が一定化される。よって、定電流回路のばらつきに起因する出力のばらつきが抑えられる。

#### 【0029】

また、本発明の磁気メモリデバイスの読出方法は、外部磁界によって磁化方向が変化する感磁層をそれぞれ有する複数の磁気抵抗効果素子と、一対の磁気抵抗効果素子に読出電流を供給する読出線対とを備え、1つの記憶セルが一対の磁気抵抗効果素子を含むように構成された磁気メモリデバイス、に適用される読出方法であって、読出線対ごとに差動スイッチ対を設け、各差動スイッチ対と電源との間にバイアス抵抗器対を設け、複数の差動スイッチ対について共通に定電流回路を設け、読出線対を流れる一対の読出電流の差に基づいて記憶セルから情報を読み出すものである。

#### 【0030】

本発明の磁気メモリデバイスの読出方法は、本発明の磁気メモリデバイスから情報を読み出すものであり、読出電流は差動出力され、読出線の各々に生じる雑音や磁気抵抗効果素子ごとの出力値に含まれるオフセット成分が除去される。このとき、読出電流の差分は、差動スイッチ対により電圧差として差動増幅され、複数の差動スイッチ対の間で共用とした定電流回路を用いて読出電流の総和を一定化することで、定電流回路の特性ばらつきに起因する出力のばらつきが抑えられる。

#### 【0031】

### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。本発明の磁気メモリデバイスの特徴は、（1）読み出し回路系が差動読出方式をとることと、（2）読出電流を差動増幅するセンスアンプ回路の各々が、その一部である定電流回路を共用する構成となっていることがある。そこで、第1の実施の形態においては、（1）の特徴を備えた基本的な読み出し回路系の構成について説明する。そこでは、数々の読み出し信号のS/N比改善のための工夫について触れる。次いで、第2の実施の形態において（2）の特徴を説明する。

#### 【0032】

##### 【第1の実施の形態】

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気メモリデバイスの全体の構成を示した図である。この磁気メモリデバイスは、いわゆる半導体メモリチップとして具現化されるMRAMであり、アドレスバッファ101、データバッファ102、制御ロジック部103、記憶セル群104、Y方向駆動回路部106、およびX方向駆動回路部108を主要な構成要素としている。この場合に、磁気メモリデバイスは、シリコンチップ中央の広い領域に記憶セル群104が配設され、周囲のわずかな領域に駆動回路部106、108等の回路部品や配線が実装されたものとなっている。

#### 【0033】

記憶セル群104は、全体としてマトリクスを構成するよう、多数の記憶セル12がワード線方向（X方向）、ビット線方向（Y方向）に配列したものである。個々の記憶セル12は、データを記憶する最小単位であり、「1」、「0」のビットデータが記憶されるようになっている。なお、ここでは、記憶セル群104における記憶セル12の各列をワード列X<sub>n</sub>、各行をビット列Y<sub>n</sub>と呼ぶ。

#### 【0034】

Y方向駆動回路部106は、Y方向アドレスデコーダ106A、読み出しのためのセンスアンプ106B、書き込みのためのY方向カレントドライブ106Cから構成され、各々が記憶セル群104に対し、記憶セル12のビット列Y<sub>n</sub>（Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub>、…）ごとに接続されている。

**【0035】**

X方向駆動回路部108は、X方向アドレスデコーダ108A、読み出しのための定電流回路108B、書き込みのためのX方向カレントドライブ108Cから構成され、各々が記憶セル群104に対し、記憶セル12のワード列Xn（X1, X2, …）ごとに接続されている。したがって、例えば、ある一つの記憶セル12は、図示したように、X方向アドレスデコーダ108A, Y方向アドレスデコーダ106Aから入力されるワード方向およびビット方向のアドレス（Xn, Yn）によって一意に選択される。

**【0036】**

アドレスバッファ101は、外部アドレス入力端子A0～A20を備えると共に、アドレス線105, 107を介してY方向アドレスデコーダ106A, X方向アドレスデコーダ108Aに接続されている。このアドレスバッファ101は、外部アドレス入力端子A0～A20から記憶セル12を選択するための選択信号を取り込み、内部バッファ増幅器においてアドレスデコーダ106A, 108Aで必要な電圧レベルまで増幅する機能を有している。また、増幅した選択信号を、記憶セル12のワード列方向（X方向）、ビット列方向（Y方向）の2つの選択信号に分け、アドレスデコーダ106A, 108Aのそれぞれに入力するようになっている。なお、磁気メモリデバイスが記憶セル群104を複数有している場合、アドレスバッファ101には、複数の記憶セル群104から1つの記憶セル群104を選択するためのアドレス信号もまた入力されるようになっている。

**【0037】**

データバッファ102は、外部とディジタルデータ信号のやり取りを行うための外部データ端子D0～D7を備えると共に、制御ロジック部103と制御信号線113により接続されている。データバッファ102は、入力バッファ102Aおよび出力バッファ102Bからなり、それぞれ、制御ロジック部103からの制御信号によって動作するようになっている。入力バッファ102は、書き込み用データバス110, 111を介してそれぞれY方向カレントドライブ106C, X方向カレントドライブ108Cに接続されており、メモリ書き込み時に外部データ端子D0～D7からデータ信号を取り込み、このデータ信号を内部バッ

ファ增幅器で必要とされる電圧レベルまで増幅し、カレントドライブ106C, 108Cそれぞれに出力する機能を有している。出力バッファ102Bは、読み出し用データバス112を介してセンスアンプ106Bに接続されており、内部バッファ增幅器を用いることにより、メモリ読み出し時にセンスアンプ106Bより入力される読み出しデータ信号を、低インピーダンスで外部データ端子D0～D7に出力する機能を有している。

#### 【0038】

制御ロジック部103は、入力端子CS, 入力端子WEを備え、データバッファ102に制御信号線113で接続されている。制御ロジック部103は、記憶セル群104に対する動作制御を行うものであり、入力端子CSからは、磁気メモリデバイスの書き込み／読み出し動作をアクティブにするか否かの信号（チップセレクト；CS）が入力される。また、入力端子WEからは、書き込み／読み出しを切り替えるための書き込み許可信号（ライトイネーブル；WE）が入力される。この制御ロジック部103は、入力端子CS, 入力端子WEより取り込んだ信号電圧を、内部バッファ增幅器により駆動回路部106, 108にて必要な電圧レベルまで増幅する機能を有している。

#### 【0039】

##### 〔読み出し回路の構成〕

次に、この磁気メモリデバイスの読み出し回路の構成について説明する。

#### 【0040】

図2は、記憶セル群とその読み出し回路からなる回路系の構成図である。この読み出し回路系は、記憶セル12が1対の磁気抵抗効果素子12A, 12Bからなる差動増幅型である。ここでは、各記憶セル12の情報読み出しを、磁気抵抗効果素子12A, 12Bそれぞれに流すセンシング電流（センスピット線21A、21Bから磁気抵抗効果素子12A, 12Bそれぞれに流入し、共通のセンスワード線31に流出する電流）の差分値を出力として行うようになっている。

#### 【0041】

同図において、記憶セル群104のビット列Ynごとの記憶セル12と、センスアンプ106Bを含む読み出し回路の一部とが、読み出し回路の繰り返し単位

であるビット方向単位読出回路80 ( $\dots, 80n, 80n+1, \dots$ ) を構成しており、ビット列方向に並列に配置されている。ビット方向単位読出回路80 ( $\dots, 80n, 80n+1, \dots$ ) の各々は、Y方向アドレスデコーダ106Aにビットデコード線20 ( $\dots, 20n, 20n+1, \dots$ ) を介して接続され、出力バッファ102Bに読み出し用データバス112を介して接続されている。なお、同図にはスペースが足りず、ビット方向単位読出回路80の全体を描くことができないため、2列で代表させて描いている。記憶セル群104についても同様で、ビット列 $Y_n, Y_{n+1}$ の2列で代表させている。

#### 【0042】

各記憶セル12の磁気抵抗効果素子12A, 12Bは、GMRないしTMRを利用した磁気抵抗効果素子である。ここでは、一具体例として磁気抵抗効果素子12A, 12BがTMR素子である場合について説明するが、その詳細な構成については後述する。

#### 【0043】

記憶セル群104には、X方向に配列されるセンス用ワードデコード線31（以後、センスワード線と略称）と、Y方向に配列される1対のセンス用ビットデコード線21A, 21B（以後、センスピット線と略称）とによりマトリクス状の配線がなされている。個々の記憶セル12は、これらの交差位置に配設され、共通のセンスピット線21A, 21Bに並列接続されている記憶セル12がビット列 $Y_n$ を構成し、共通のセンスワード線31にカスケード状に接続されている記憶セル12がワード列 $X_n$ を構成している。

#### 【0044】

1つの記憶セル12では、1対の磁気抵抗効果素子12A, 磁気抵抗効果素子12Bそれぞれの一端がセンスピット線21A, 21Bに接続され、またそれぞれの他端は、1対の逆流防止用ダイオード13A, 13Bのそれぞれを介して共通のセンスワード線31に接続される。ここで、個々の磁気抵抗効果素子12A, 12Bに対するセンシング電流の電流経路は、各素子からの導線とセンスピット線21A, 21Bとの結節点から、各素子からの導線とセンスワード線31との結節点までの間の経路とする。なお、ここでは、センスピット線21A, 21

Bが本発明の「読み出線対」に対応している。

#### 【0045】

(ビット列方向の接続)

センスピット線21A, 21Bは、記憶セル12のビット列Y<sub>n</sub> (Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, ...)ごとに、対をなして配設されている。これらのセンスピット線21A, 21Bは、記憶セル群104を貫くようにY方向に延在し、一端が電源V<sub>cc</sub>に接続されている。センスピット線21A, 21Bの一端側（電源V<sub>cc</sub>側）には、それぞれ、電流電圧変換用抵抗器23A, 23B（以後、抵抗器23A, 23B）、およびトランジスタ22A, 22Bのコレクターエミッタ間が直列に接続されている。さらに、ビット列Y<sub>n</sub>を構成する複数の記憶セル12は、それぞれセンスピット線21Aとセンスピット線21Bの双方に接続されている。具体的には、記憶セル12における磁気抵抗効果素子12Aの一端がセンスピット線21Aに接続され、磁気抵抗効果素子12Bの一端がセンスピット線21Bに接続されている。

#### 【0046】

さらに、トランジスタ22A, 22Bのベース側には、ビットデコード線20が接続されている。ビットデコード線20は、Y方向アドレスデコーダ106Aに接続されており、Y方向アドレスデコーダ106Aより、書き込み／読み出しの対象となる記憶セル12が属するビット列Y<sub>n</sub>に対して選択的に出力される選択信号が入力されるようになっている。すなわち、ビットデコード線20 (..., 20<sub>n</sub>, 20<sub>n+1</sub>, ...)は、記憶セル12の各ビット列Y<sub>n</sub>に対応して設けられており、Y方向アドレスデコーダ106Aからの選択信号を動作対象であるビット列Y<sub>n</sub>に送出する機能を有している。トランジスタ22A, 22Bは、一対の第2の半導体スイッチとして、ビットデコード線20から入力される選択信号の値（ビットデコード値）に応じて開閉する機能を備えている。

#### 【0047】

なお、ビットデコード線20とセンスピット線21A, 21Bは、このように同じデコード機能を有しているが、両者は動作上、明確に区別される。すなわち、ビットデコード線20はY方向アドレスデコーダ106Aより選択セルを伝え

る信号線であり、その値は“H i g h”，“L o w”の2値のデジタル信号であるのに対し、センスピット線21A, 21Bは磁気抵抗効果素子12A, 12Bに流れ込む微弱電流の検出を目的とするアナログ信号線である。なお、ワードコード線30とセンスワード線31についてもこれと同じことが言える。

#### 【0048】

また、センスピット線21A, 21Bに接続された抵抗器23A, 23Bの電源Vccとは反対側の端部における結節点からは、センスアンプ入力線40A, 40B（以後、入力線40A, 40B）が導出されている。抵抗器23A, 23Bは、センスアンプ106Bのバイアス抵抗として機能する。すなわち、自身の電圧降下によって、電源Vccからセンスピット線23A, 23Bを流れ下るセンシング電流を電圧に変換し、入力線40A, 40Bよりセンスアンプ106Bに導くために設置される。また、抵抗器23A, 23Bは、電源Vccの供給電圧よりも一φだけ低い中間電圧レベルを作り出す機能も兼ね備えている。ここでは、センシング電流が微弱なために、抵抗器23A, 23Bで大きな電圧降下を得て、入力線40A, 40Bに入力する電圧値をできるだけ大きくするには、抵抗器23A, 23Bの抵抗値を大きくする必要がある。よって、抵抗器23A, 23Bは、例えば100kΩ程度の高い抵抗値を有することが望ましく、少なくとも、磁気抵抗効果素子12A, 12Bの抵抗値よりも大きい抵抗値を有することが望ましい。

#### 【0049】

(ワード列方向の接続)

センスワード線31の各々には、同じワード列Xn（X1, X2, …）に配列された記憶セル12が接続されている。ただし、本実施の形態では、記憶セル12とセンスワード線31との間に、整流素子としての逆流防止用ダイオード13A, 13Bが配設されている。逆流防止用ダイオード13A, 13Bの各々は、磁気抵抗効果素子12A, 12Bに対応し、それぞれ個別に接続されている。また、磁気抵抗効果素子12Aと逆流防止用ダイオード13A、および、磁気抵抗効果素子12Bと逆流防止用ダイオード13Bは、互いに絶縁された状態にある。

### 【0050】

逆流防止用ダイオード13は、センスワード線31から各磁気抵抗効果素子12A, 12Bに電流が逆流することを防止するための一方向素子として設けられている。逆流防止用ダイオード13としては、例えば、p-n接合ダイオード、ショットキーダイオード、あるいはバイポーラ・ジャンクション・トランジスタ（BJT:Bipolar Junction Transistor）のベースコレクタ間を短絡してダイオードとしたものや、MOSFETのゲートードレイン間を短絡してダイオードとしたものなどを用いることができる。

### 【0051】

また、センスワード線31の接地側には、トランジスタ33のコレクターエミッタ間が接続され、このトランジスタ33のベース側には、ワード列Xnに対応してワードデコード線30(..., 30n, 30n+1, ...)が配設されている。ワードデコード線30は、X方向アドレスデコーダ108Aに接続されており、X方向アドレスデコーダ108Aよりワード列Xnを選択する選択信号が入力されると共に、選択信号をトランジスタ33のベース側に送出する機能を有している。

### 【0052】

トランジスタ33は、ベース入力される選択信号の値（ビットデコード値）に応じて開閉する第1の半導体スイッチとして機能し、センスワード線31の導通／遮断を制御するようになっている。このトランジスタ33には、例えば、BJTまたはMOSFETを用いることができる。なお、トランジスタ33のエミッタ側には電流制限抵抗器34が設けられている。

### 【0053】

本実施の形態では、センスワード線31の接地側に、さらに定電流回路108Bが配設されている。定電流回路108Bは、センスワード線31を流れる電流を一定とする機能を有しており、定電圧発生用のダイオード32、トランジスタ33および電流制限抵抗器34から構成されている。よって、トランジスタ33は、ワードデコード用半導体スイッチとしての機能に加え、コレクターエミッタ間に一定の電流を流す機能を備えたものとなっており、そのベース側はダイオード

ド32のアノードにも接続されている。ダイオード32は、この場合、2個のダイオードが直列に接続したものである。

#### 【0054】

(センスアンプの回路構成)

センスアンプ106Bは、ビット方向単位読出回路80につき1つ設けられ、各ビット方向単位読出回路80において1対のセンスピット線21A, 21Bの間の電位差を取り込み、この電位差を増幅する機能を有する。各ビット方向単位読出回路80のセンスアンプ106Bは、それぞれ入力線40A, 40Bにより対応するセンスピット線21A, 21Bに接続されると共に、すべては共通のセンスアンプ出力線51A, 51B（以後、出力線51A, 51B）に接続され、最後には読み出し用データバス112により出力バッファ102Bに接続されている。

#### 【0055】

センスアンプ106Bそれ自体は、いわゆる差動増幅器として構成され、トランジスタ41A, 41Bからなる増幅段と、電圧出力を取り出すためのバイアス抵抗であるバイアス抵抗器42A, 42Bと、電圧降下用のダイオード43, 電流制御機能および選択スイッチ機能を有するトランジスタ44, 電圧降下用の抵抗器45とを備えている。

#### 【0056】

図3は、読み出し回路全体からセンスアンプ106Bの部分を抽出して示したものである。このように、各ビット方向単位読出回路80に設けられたセンスアンプ106Bは、出力線51A, 51Bに対しカスケード接続されている。また、バイアス抵抗器42A, 42Bは、カスケード接続されるすべてのセンスアンプ106Bに共有されている。なお、出力線51A, 51Bは、その出力最終段において読み出し用データバス112に替わられ、出力バッファ102Bに接続されている。

#### 【0057】

トランジスタ41A, 41Bは、ベース側に入力線40A, 40Bが接続され、コレクタ側に出力線51A, 51Bを介してバイアス抵抗器42A, 42Bが

接続されている。また、トランジスタ41A, 41Bのエミッタ側には、トランジスタ44のコレクタ側が共通接続されている。トランジスタ44は、電流制限機能と、ビットデコード線20からのビットデコード値に応じて開閉する半導体スイッチとしての機能とを併せ持ち、ベース側にダイオード43を介してビットデコード線20が接続され、エミッタ側が抵抗器45を介して接地されている。ダイオード43は、そのバンドギャップリファレンスを利用してビットデコード線20の電圧レベルから一φだけ落とした中間電圧レベルを作り出し、この電圧値をトランジスタ44のベース側入力電圧とするために用いられている。

#### 【0058】

ここで、出力線51A, 51Bより取り出される出力信号値がばらつかないためには、バイアス抵抗器42A, 42Bに抵抗値が精度良く揃ったものを用いることが望ましい。トランジスタ41A, 41Bも、互いの特性が良く揃っていることが重要である。また、ダイオード43, トランジスタ44および抵抗器45の各特性は、センスアンプ106B間で互いに等しくする必要がある。トランジスタ44には定電圧であるビットデコード値がベース入力されるので、トランジスタ44のコレクターエミッタ間を介して抵抗器45に流れ込む電流は一定値に制限される。そのため、トランジスタ41A, 41Bを流れる電流の和は一定となり、差動出力が直接規格化される。そこで、センスアンプ106Bごとの電流規格値を揃え、出力信号値のばらつきを抑制するために、上記の各特性を等しくすることが望ましい。

#### 【0059】

次に、図4～図6を参照し、本実施の形態における磁気メモリデバイスの回路配置パターンについて説明する。

#### 【0060】

図4は、記憶セル群のY方向駆動回路部の周辺の実装の様子を表し、図5は、Y方向駆動回路部の実際の回路配置を表している。Y方向駆動回路部106は、記憶セル群104の一辺に形成され、その上部には、ボンディングパッド121が設けられている。このY方向駆動回路部106では、以上にみてきたように、Y方向アドレスデコーダ106A, センスアンプ106BおよびY方向カレント

ドライブ106Cのそれぞれが各ビット列Yn (Y1, Y2, ...)に対応する回路を1構成単位として成り立っている。本実施の形態では、これら回路106A～106Cの1構成単位を、対応するビット列Yn (Y1, Y2, ...)ごとにまとめたものを単位駆動回路DUn (DU1, DU2, ...)とすると共に、この単位駆動回路DUnを、その幅が記憶セル12の幅Wに収まるように形成することで、対応するビット列Ynの端部にちょうど配置されるようにしている。

### 【0061】

図5には、ひとつの単位駆動回路が示されている。Y方向アドレスデコーダ106Aの回路エリアは、電源ライン122 (Vcc) と、中間電位の電源ライン123 (Vm), グラウンドライン124 (GND)との間に形成される。中間電位の電源ライン123は、バンドギャップ+2Φに対応した電圧を電流制限用トランジスタや、X方向では定電流回路108Bなどに供給する電圧源である。また、この回路エリア内をアドレス線105が横断するように延在しており、これに各単位駆動回路DUnのアドレスデコーダ106Aが接続するようになっている。

### 【0062】

センスアンプ106Bの回路エリアは、電源ライン125と、中間電位の電源ライン123, グラウンドライン124との間に形成される。このエリア内には、出力線51A, 51Bが横断するように延在しており、これに各単位駆動回路DUnのセンスアンプ106Bがカスケード接続されるように配線がなされている。Y方向カレントドライブ106Cの回路エリアは、電源ライン125と、中間電位の電源ライン126, グラウンドライン127との間に形成されている。

### 【0063】

図6は、単位駆動回路のうち、さらにセンスアンプのみの回路パターン配置を具体的に示している。先に図2において説明したように、センスアンプ106Bは、各ビット列Yn (Y1, Y2, ...)にそれぞれ対応付けられているだけでなく、センスピット線21A, 21Bの電源Vcc側に接続されている。そこで、ここでは、センスアンプ106Bの回路エリアに、トランジスタ22A, 22B, 抵抗器23A, 23Bを、センスアンプ106Bと共に集積配置するようにしている。

**【0064】**

この回路パターン配置図と図2、図3の回路図とを対照すると、センスアンプ106Bにおける1対のトランジスタ41A、41Bの内側にトランジスタ22A、22B、抵抗器23A、23Bがちょうど対をなして配置されていることがわかる。ここで、ピアパッド128A、128Bは、それぞれセンスビット線21A、21Bへ接続される。また、図6には示されていないが、ビットデコード線20は、グラウンドライン124を通り過ぎてY方向アドレスデコーダ106Aに接続されている。なお、こうした理解を助けるため、図6では、意図的に電源ライン125を上にグラウンドライン124を下にして、図5ではなく図2、図3と対応するようにしている。

**【0065】**

ところで、トランジスタ22A、22Bの対と、抵抗器23A、23Bの対、およびセンスアンプ106Bはすべて差動対であり、対をなす相手と特性が揃っていることが動作上重要である。よって、予め特性を揃えることは勿論であるが、それでも各回路素子の設置場所の温度条件が異なる場合などに、出力特性が異なってくることがある。これに対し、本実施の形態では、上記対をなす回路素子を近接して配置しているので、共に同じ温度変化を受けるために互いの特性は同様に変化し、差がほとんど生じない。これにより、温度変化によって生じる出力値の変化を低減させることができる。

**【0066】**

(磁気メモリ素子の構成)

次に、本実施の形態において用いる磁気抵抗効果素子12A、12B、および記憶セル12の構成について説明する。

**【0067】**

図7は、記憶セルの構成を示す断面図である。このように、記憶セル12は、基板10の上に左右1対の磁気抵抗効果素子12A、12Bが搭載されてなる。これら磁気抵抗効果素子12A、12Bは、共に、第1の磁性層1、非磁性層2、第2の磁性層3が積層した積層体と、この積層体の一方の面側に積層面に沿った方向を軸方向とするように配設されると共に書込用ビット線6a、書込用ワ

ド線6 b（第1，第2の書込線）によって貫かれるように構成された環状磁性層5とを含んで構成されている。第2の磁性層3と環状磁性層5は、非磁性導電層4を介して接合され、電気的に接続されている。

#### 【0068】

また、磁気抵抗効果素子12A，12Bそれぞれには、積層体の上面（環状磁性層5とは反対側の面）に読出センシング用導線11が設けられ、基板10に向かって、積層体に対しては積層面に垂直に電流を流すことができるよう構成されている。

#### 【0069】

第1の磁性層1は、磁化方向の固定された強磁性層であり、第2の磁性層3は、外部磁界によって磁化方向が変化する強磁性層（感磁層）である。これらは、数nm（数10Å）と非常に薄い非磁性層2を挟んで積層されている。この積層体において、第1の磁性層1と第2の磁性層3との間に、積層面に垂直方向の電圧を印加すると、例えば第2の磁性層3の電子が非磁性層2を突き抜けて第1の磁性層1に移動してトンネル電流が流れる。すなわち、ここでの非磁性層2は、トンネルバリア層である。このトンネル電流は、非磁性層2との界面部分における第1の磁性層1の спинと第2の磁性層3の спинとの相対的な角度によって変化する。すなわち、第1の磁性層1の спинと第2の磁性層3の спинとが互いに平行な場合に磁気抵抗効果素子12A（12B）の抵抗値は最小、反平行のときに最大となる。

#### 【0070】

第2の磁性層3は、書込用ビット線6a，書込用ワード線6bによる誘導磁界によって磁化が変化するようになっている。ここで、第2の磁性層3の磁化は、誘導磁界によって反転し、これにより第1の磁性層1の磁化との相対角度が反転するようになっている。また、書き込み対象の記憶セル12の選択は、いわゆるマトリクス駆動法によって行うため、書込用ビット線6a，書込用ワード線6bのいずれか一方だけではなく、これらの双方に対し電流が同方向に流れるときにのみ磁化反転が可能であるように、第2の磁性層3の磁気特性や寸法などが設定される。これがTMR素子としての磁気抵抗効果素子12A（12B）の基本構

造である。

### 【0071】

ここでは、環状磁性層5は、図7において紙面に垂直方向の軸をもつ筒型の形状を有し、書込用ビット線6a、書込用ワード線6bの互いに平行となった部分を内包している。すなわち、この環状磁性層5の軸方向は、書込用ビット線6a、書込用ワード線6bの延在方向であり、軸方向を横切る断面方向において閉じた環状となっている。また、環状磁性層5は、高透磁率磁性材料から構成され、内包する書込用ビット線6a、書込用ワード線6bの電流によって生じる磁束を層内部に閉じ込めることにより、第2の磁性層3の磁化方向を効率よく変化させる機能を有する。この環状磁性層5は、図示したように断面が閉ループとなっており、発生した誘導磁界が、断面と平行な面に沿って層内を還流するようになっている。これにより、環状磁性層5は、外部に漏洩磁束を生じさせない電磁遮蔽効果を有している。また、ここでは、第2の磁性層3に一面で接するように構成されているために、磁界を第2の磁性層3に伝えやすく、高い磁束密度でもって近接する第2の磁性層3の磁化方向を一層効率よく変えることができるようになっている。

### 【0072】

また、図8は、書込用ビット線6a、書込用ワード線6bの配線構造を示したものである。このように、本実施の形態の磁気メモリデバイスは、複数の書込用ビット線6aと、この書込用ビット線6aとそれぞれ交差するように延びる複数の書込用ワード線6bとを備えている。これらは交差するように延びているが、その交差領域では部分的に平行となって延在しており、この平行部分に磁気抵抗効果素子12A、12Bが形成されている。なお、ここでいう平行とは、製造上の誤差範囲±10°を含んでいる。ここでは、平行となった書込用ビット線6a、書込用ワード線6bの合成磁界を用いて第2の磁性層3の磁化を反転させるが、この誘導磁界の大きさは、各配線が交差するときの合成磁界よりも大きい。よって、書き込み動作を効率よく行うことができる。

### 【0073】

なお、磁気抵抗効果素子12A（12B）の各々には、読出センシング用導線

11から積層体に流れ込み、環状磁性層5から基板10へと通り抜けるように電流が流れる。よって、トンネル電流を流す非磁性層2を除いた積層体の各層、および非磁性導電層4、環状磁性層5には、すべて導電性を有する材料が用いられる。第1の磁性層1、第2の磁性層3には、例えば、コバルト鉄合金(CoFe)が用いられ、その他単体のコバルト(Co)、コバルト白金合金(CoPt)、ニッケル鉄コバルト合金(NiFeCo)などを用いることができる。また、第1の磁性層1と第2の磁性層3は、磁化方向が互いに平行または反平行となる状態で安定化するため、互いの磁化容易軸を平行とすることが望ましい。

#### 【0074】

非磁性層2は、トンネル抵抗等を基にその厚みが決められる。一般に、TMR素子を用いた磁気メモリ素子では、トランジスタなどの半導体デバイスとのマッチングを図るため、トンネル抵抗は数 $10\text{ k}\Omega \cdot (\mu\text{m})^2$ 程度が適当とされる。しかし、磁気メモリデバイスにおける高密度化および動作の高速度化を図るためにには、トンネル抵抗は、 $10\text{ k}\Omega \cdot (\mu\text{m})^2$ 以下、さらに好ましくは $1\text{ k}\Omega \cdot (\mu\text{m})^2$ 以下とすることが好ましい。そうしたトンネル抵抗値を実現するためには、非磁性層(トンネルバリア層)2の厚みは $2\text{ nm}$ 以下、さらに好ましくは $1.5\text{ nm}$ 以下とすることが望ましい。ただし、非磁性層2の厚みをあまり薄くすると、トンネル抵抗を低減することができる一方で、第1の磁性層1および第2の磁性層3との接合界面の凹凸に起因するリーク電流が生じ、MR比が低下してしまうおそれがある。これを防止するため、非磁性層2の厚みは、リーク電流が流れない程度の厚みを有する必要があり、具体的には $0.3\text{ nm}$ 以上の厚みであることが望ましい。

#### 【0075】

非磁性導電層4は、第2の磁性層3と環状磁性層5とを反強磁性結合させるように機能するものであり、例えば、ルテニウム(Ru)、銅(Cu)などが用いられる。環状磁性層5には、鉄(Fe)、ニッケル鉄合金(NiFe)、Co, CoFe, NiFeCo等を用いることができる。また、書込用ビット線6a、書込用ワード線6bによる磁界を環状磁性層5に集中させるために、環状磁性層5の透磁率はできるだけ大きいほうが好ましく、具体的には200以上、より

好ましくは6000以上である。

### 【0076】

書込用ビット線6aおよび書込用ワード線6bは、いずれも、チタン(Ti)、窒化チタン(TiN)、アルミニウム(Al)が順に積層された構造を有し、絶縁膜によって、互いに電気的に絶縁されている。書込用ビット線6aおよび書込ワード線6bは、例えば、アルミニウム(Al)、銅(Cu)およびタンゲステン(W)のうちの少なくとも1種からなるようにしてもよい。

### 【0077】

磁気抵抗効果素子12A、12Bが形成される基板10の上には、エピタキシャル層9が形成され、さらにその上に導電層8および絶縁層7が形成されている。導電層8は、絶縁層7を介して互いに絶縁された導電層8A、8Bからなる。磁気抵抗効果素子12A、12Bは、導電層8および絶縁層7の上面に形成されるが、それぞれ、その形成領域の少なくとも一部が導電層8A、8Bの形成領域と重なるように位置決めされる。よって、磁気抵抗効果素子12Aと磁気抵抗効果素子12Bとは、分離絶縁されている導電層8A、8Bにそれぞれ個別に接合され、互いに電気的に絶縁されている。すなわち、ここでは、磁気抵抗効果素子12Aと磁気抵抗効果素子12Bが、電気的に非導通であるように配線がなされている。

### 【0078】

また、ここでは、基板10をn型シリコンウエハとする。一般に、n型シリコンウエハにはP(燐)の不純物拡散が施されており、基板10としては、P(燐)の高濃度拡散によりn++型となっているものを用いる。これに対し、エピタキシャル層9は、P(燐)が低濃度拡散されてn-型となるようとする。また、導電層8には金属を用いる。このとき、n-型半導体であるエピタキシャル層9と、金属の導電層8とを接触させると、バンドギャップが生じてショットキーダイオードが形成される。これが、本実施の形態におけるダイオード13A、13Bである。

### 【0079】

ダイオード13A、13Bをこのようにショットキーダイオードとして形成す

ることには、エピタキシャル層付きのシリコンウェハが入手しやすく低価格であること、形成工程が簡易であること等の利点がある。しかし、ショットキーダイオードは、PN接合ダイオードに比べてリーク電流が数100倍以上も大きく、加えて温度上昇に伴うリーク電流の増加も大きい。この磁気メモリデバイスをMRAM半導体メモリチップとし、記憶セル12ごとにショットキーダイオードを数1000個も並列に接続した場合、リーク電流がかなり増大してしまうために読み出し出力のS/N比を下げる原因となることが考えられる。ここでは、ダイオード13として、コスト面、製造面で有利なショットキーダイオードを採用したが、リーク電流が無視できない場合などには、ダイオード13をPN接合ダイオード、ベース・コレクタ間を短絡したBJT、あるいはゲート・ドレイン間を短絡したMOSFETで形成することも可能である。

#### 【0080】

図9は、記憶セルを回路図で表したものである。このように、1対の磁気抵抗効果素子12A, 12Bは、第1の磁性層1および第2の磁性層3の磁化の相対角度に応じて流れる電流の値が変化することから、可変抵抗とみなされる。すなわち、磁気抵抗効果素子12A(12B)は、流すことのできるトンネル電流の電流密度が高い低抵抗の状態と、電流密度が小さい高抵抗の状態とをとる。

#### 【0081】

なお、後の動作説明において詳述するが、本実施の形態においては、磁気抵抗効果素子12A, 12Bの一方を低抵抗、他方を高抵抗として情報の記憶を行う。これは、2つの磁気抵抗効果素子12A, 12Bからの出力を差動増幅して読み出すためにはかならない。よって、対をなす2つの磁気抵抗効果素子12A, 12Bは、抵抗値、磁気抵抗変化率、および第2の磁性層3の反転磁界の大きさが等しくなるように製造される必要がある。

#### 【0082】

##### 〔記憶セルに対する書き込み動作〕

次に、この記憶セル12における情報記憶方式と書き込み動作方法について説明する。

#### 【0083】

図10は、図9と同様に記憶セルを表したものであり、磁気抵抗効果素子12A, 12Bそれぞれの第1の磁性層1, 第2の磁性層3の磁化を表している。同図において、白色矢印は第1の磁性層1の磁化を表しており、磁気抵抗効果素子12A, 12B共に右方向に磁化が固定されている。一方、黒色矢印は第2の磁性層3の磁化を表し、磁気抵抗効果素子12A, 12Bでは互いに反平行となる向きに磁化されている。このように、記憶セル12では、1対の磁気抵抗効果素子12A, 12Bの第2の磁性層3の磁化方向が互いに反平行となる状態で情報が記憶される。

#### 【0084】

このとき、1対の磁気抵抗効果素子12A, 12Bにおいては、それぞれの第1の磁性層1と第2の磁性層3の磁化方向の組み合わせは、必ず（平行、反平行）の第1の状態か、（反平行、平行）の第2の状態となる。よって、この2つの状態に2値情報「0」, 「1」を対応させることで、1つの記憶セル12に1ビットの情報を記憶させる。なお、磁気抵抗効果素子12A (12B)においては、第1の磁性層1と第2の磁性層3の磁化方向が平行であれば大きなトンネル電流が流れる低抵抗状態となり、反平行であれば小さなトンネル電流しか流れない高抵抗状態となる。つまり、対をなす磁気抵抗効果素子12Aおよび磁気抵抗効果素子12Bは、必ず一方が低抵抗で、他方が高抵抗となって情報を記憶する。

#### 【0085】

このように、対となる磁気抵抗効果素子12A, 12Bにおいて第2の磁性層3の磁化方向を互いに反平行とするため、図11に示したように、磁気抵抗効果素子12A, 12Bそれぞれの書き用ビット線6a, 書き用ワード線6bに対し、相対的に逆向きとなるように電流を流す（図8参照）。図11には、記憶セル12に対し、図10に示した「1」ビットを書き込む場合の書き込み電流の向きが示されている。

#### 【0086】

これにより、磁気抵抗効果素子12A, 12Bそれぞれの環状磁性層5には、互いに逆向きに還流する磁界が誘導され、それぞれの第2の磁性層3との対向面における磁化（つまり誘導磁界の向き）は、互いに反平行となる。磁気抵抗効果

素子12A, 12Bそれぞれの第2の磁性層3の磁化は、この外部から与えられる磁界の向きに従って反平行となり、その磁化状態が、環状磁性層5との反強磁性結合により固定される。なお、「0」ビットを書き込むには、磁気抵抗効果素子12A, 12Bそれに流す電流の向きを、図示の向きとは反対に切り替えるようにする。

#### 【0087】

このとき、誘導磁界は環状磁性層5の内部に閉じ込められることから、第2の磁性層の磁化反転に寄与する実効的な磁界強度は、従来に比して大きくなる。その結果、第2の磁性層3を必要十分な磁界強度で磁化反転させることができ、効率よい書き込み動作を行うことができる。換言すると、この書き込みにおいては、第2の磁性層3の磁化は、所定の方向に対し十分な大きさとなるように揃えられる。よって、この第2の磁性層3の磁化方向が外部擾乱磁界により乱されるおそれを低減させ、一旦書き込まれた情報が予期せず消されたり、書き換えられたりすることが防止できる。すなわち、情報を確実に書き込むことができる。

#### 【0088】

この磁気メモリデバイスでは、まず、アドレスバッファ101が外部データ端子A0～A20の信号電圧を取り込んで内部バッファで増幅し、アドレス線105, 107を通じてY方向、X方向のアドレスデコーダ106A, 108Aに伝達する。それと同時に、データバッファ102が外部データ端子D0～D7の信号電圧を取り込んで内部バッファで増幅し、書き込み用データバス110, 111を通じてY方向、X方向のカレントドライブ106C, 108Cに伝達する（図1）。

#### 【0089】

アドレスデコーダ106A, 108Aは、選択信号により、これに対応するデコード値をもつ書込用ビット線6a, 書込用ワード線6bを選択する。また、書込用ビット線6a, 書込用ワード線6bに流す電流の向きは、カレントドライブ106C, 108Cにより決定される。これにより、書込用ビット線6a, 書込用ワード線6bの双方に電流が流れる記憶セル12が一意に選択され、そこに所定のビットデータが書き込まれる。例えば、図8では、書込用ビット線6a, 書

込用ワード線6 b の電流の向きが矢印で示され、記憶セル1 2 が選択されている様子が表されている。

### 【0090】

#### 〔読み出し動作〕

磁気メモリデバイスは、各記憶セル1 2 に書き込まれた情報を以下のようにして読み出す。

### 【0091】

#### (基本動作)

図12は、記憶セルの基本構成を示している。まず、同図を参照して、読み出し動作の基本的な部分を説明する。各記憶セル1 2 は、磁気抵抗効果素子1 2 A, 1 2 B が図示のような磁化方向となって情報が記憶された状態となっている。このうち、情報を読み出す記憶セル1 2 は、そのアドレスに対応して、Y方向はビットデコード線2 0、X方向はワードデコード線3 0 に選択信号が入力されることで選択される。例えば、選択する記憶セル1 2 が、Y<sub>n</sub>列、X<sub>n+1</sub>行にある場合、Y<sub>n</sub>番目のビットデコード線2 0<sub>n</sub> と X<sub>n+1</sub> 番目のワードデコード線3 0<sub>n+1</sub> に信号が入力される。

### 【0092】

Y<sub>n</sub>番目のビットデコード線2 0<sub>n</sub> における電圧レベルを” H i g h ” とすると、トランジスタ2 2 A, 2 2 B が通電状態となり、記憶セル1 2 のY<sub>n</sub>番目の列方向ブロック（ビット列Y<sub>n</sub>）にセンシング電流が流れる。センシング電流は、センスピット線2 1 A, 2 1 B を電源V<sub>cc</sub>側からその反対側に向かって流れ下る。

### 【0093】

一方、X<sub>n+1</sub>番目のワードデコード線3 0<sub>n+1</sub> における電圧レベルを” H i g h ” とすると、トランジスタ3 3 が通電状態となり、記憶セル1 2 のX<sub>n+1</sub>番目の行方向ブロック（ワード列X<sub>n+1</sub>）に電流が流れることが許される。よって、センシング電流は、Y<sub>n</sub>番目のセンスピット線2 1 A, 2 1 B のから、それぞれ磁気抵抗効果素子1 2 Aとダイオード1 3 A, 磁気抵抗効果素子1 2 Bとダイオード1 3 B を通り、共にX<sub>n+1</sub>番目のセンスワード線3 1へと流れ込み、さらに

、定電流回路108Bを構成するトランジスタ33のコレクターエミッタ間を通り、抵抗器34から接地へと抜ける。このように、Yn列、Xn+1行目の記憶セル12は、Yn列、Xn+1行目の磁気抵抗効果素子12A、12Bにセンシング電流を流すことにより選択される。

#### 【0094】

情報の読み出しへは、記憶セル12の磁気抵抗効果素子12A、12Bのそれぞれに流れる電流値の差分を検出することによって行われる。これらに流れる電流は、センスピット線21A、21Bを流れるセンシング電流にほぼ等しい。また、センスピット線21A（21B）に対して直列に接続された抵抗器23A（23B）には、センシング電流による電圧降下が起きる。その電圧降下Vaは、センシング電流の大きさをI sense、抵抗器23A（23B）の抵抗値をRaとすれば、次式で決定される。

$$Va \text{ (Volt)} = I_{\text{sense}} \text{ (A)} \times Ra \text{ (\Omega)} \quad \dots (1)$$

式(1)より、抵抗器23Aと抵抗器23Bの値が良く揃っていれば、センシング電流I senseを電圧降下Vaによって電圧に変換して検出されることがわかる。そこで、ここでは読み出し出力信号として、抵抗器23Aと抵抗器23Bの電圧降下をそれぞれ入力線40A、40Bから取り出し、その差分を検出するようしている。このように、2つの磁気抵抗効果素子12A、12Bを用い、それぞれの出力値の差分を取り出すことで、記憶セル12としては、雑音が除去された大きな出力値が得られる。

#### 【0095】

(定電流回路108Bの作用)

以上の読み出し動作において、選択された記憶セル12に流れるセンシング電流の大きさは、センスワード線31の接地側に設けられた電流制限抵抗器34により調整される。電流制限抵抗器34は、これ単独で電流量を制限する効果があるが、ここではさらに、電流制限抵抗器34とトランジスタ33、ダイオード32を組み合わせて構成された定電流回路108Bが、電流量を一定範囲内に收めるように動作する。

#### 【0096】

ワードデコード線30の電圧レベルが“High”であれば、2個直列に接続されているダイオード32は、ダイオードのバンドギャップリファレンスにより、接地から+2Vだけ高い中間電圧レベルを固定的に作り出す。よって、トランジスタ34のベース端子には、中間電圧レベルが印加され、トランジスタ34は通電状態となる。このとき、センスワード線31から流入するセンシング電流の大きさ  $I_{sense}$  は、電流制限抵抗器34の抵抗値を  $R_c$  とすれば、次式で求まる。

$$I_{sense} \text{ (A)} = (2\phi' - \phi'') \text{ (Volt)} / R_c \text{ (\Omega)} \quad \dots (2)$$

$2\phi'$  は2個の直列になったダイオード32の順方向電圧、 $\phi''$  はトランジスタ33のベースーエミッタ間の順方向電圧である。これらは半導体素子固有の値であるから、式(2)は、抵抗値  $R_c$  が決まればセンシング電流  $I_{sense}$  は一定値をとること、抵抗値  $R_c$  をパラメータとしてセンシング電流  $I_{sense}$  は一意に決められることを示している。

### 【0097】

すなわち、この定電流回路108Bのおかげで、センスワード線31において微弱なセンシング電流  $I_{sense}$  が一定の範囲内の値で安定して流れる。なお、式(2)のセンシング電流  $I_{sense}$  は、センスワード線31に流れる電流であり、センスピット線21Aおよびセンスピット線21B、もしくは磁気抵抗効果素子12Aおよび磁気抵抗効果素子12Bの双方を流れる電流の総和のことである。

### 【0098】

一例として、電流制限抵抗器34を  $50\text{ k}\Omega$  とし、ダイオード32、トランジスタ33にシリコンダイオードおよびシリコントランジスタを使用した場合、定電流回路108Bによるセンシング電流  $I_{sense}$  は、ほぼ  $15\mu\text{A}$  になる。この場合、製造上の原因により、対をなす磁気抵抗効果素子12A、12Bそれぞれが駆動動作上取り得る抵抗値の範囲が異なっていたとしても、両者を流れる電流の総和は、常にほぼ  $15\mu\text{A}$  に等しくなる。なお、製造上の原因による磁気抵抗効果素子12A(12B)の抵抗値のばらつきとは、非磁性層2が、数nm(数  $10\text{ \AA}$ )という数原子単位の厚みしか持たないために、厚みと原子配列のわずかな乱れで抵抗値が変わることを意味している。それゆえ、非磁性層2を均一な厚

みで成膜することには細心の注意が払われるが、現実には磁気抵抗効果素子12A（12B）の抵抗値において15～50%程度、製造設備等の条件が悪いときにはそれ以上のばらつきが生じてしまう。

### 【0099】

磁気抵抗効果素子12A, 12Bの抵抗値のばらつきには、要因ごとに2つの場合が考えられる。①1つ目は、記憶セル12同士の間で、非磁性層2の厚みのばらつき等により、磁気抵抗効果素子12A, 12Bの低抵抗時および高抵抗時の抵抗値が異なる場合である。総じて非磁性層2の厚みが増せば、1対の磁気抵抗効果素子12A, 12Bの抵抗は低抵抗時、高抵抗時とも大きな値をとるようになる。②2つ目は、各記憶セル12で対をなしている磁気抵抗効果素子12A, 12Bの間で、接合界面の凹凸や非磁性層2の厚みの違い、その他の原因により、大きなトンネル電流が流れるときの抵抗値と小さなトンネル電流しか流れないときの抵抗値との比率、すなわちMR比がばらつく場合である。

### 【0100】

ここで、①記憶セル12の間で、磁気抵抗効果素子12A, 12Bの抵抗値がばらついていたとする。センスピット線21A, 21Bを流れる各電流値は、それぞれ1対の磁気抵抗効果素子12A, 12Bの抵抗値に応じた値ではあるものの、その総和は常に一定値をとるように制御されている。言い換えると、センスピット線21A, 21Bを流れる各電流値は、ある規格化された電流量を抵抗比に応じて分配したものである。そのため、抵抗値のばらつき度合いに比べて、各電流値のぶれは少なくなる。殊に、記憶セル12の間における抵抗のばらつきが各々のMR比を変えないような場合には、1対の磁気抵抗効果素子12A, 12Bの抵抗比が等しいことから、記憶セル12ごとの抵抗値の大小には関係なく（かなり大きく異なっていたとしても）、センスピット線21A, 21Bの各電流値はほぼ等しくなる。こうして、センスピット線21A, 21Bの電流値の差は、常に一定の範囲内に収められる。そのため、電流電圧変換用抵抗器23A, 23Bの電圧降下の差も一定の範囲内に収められ、安定した差動出力を得ることが可能となり、読み出し信号のS/N比を向上させることができる。

### 【0101】

一方、上記の説明からもわかるように、②磁気抵抗効果素子12A対磁気抵抗効果素子12BのMR比のばらつき、特にMR比の低下は、差動出力を得る場合には致命的であり、出力信号のS/N比を極端に落としてしまう。しかし、ここでは、定電流回路108Bを設けているため、センスピット線21A, 21Bの各々における電流のぶれは、総電流値に応じて押さえ込まれる。これにより、電流電圧変換用抵抗器23A, 23Bの電圧降下の変動はばも一定に抑えられ、センスアンプ106Bの入力におけるオフセット電圧のばらつきを軽減することができる。

#### 【0102】

(逆流防止用ダイオードの作用)

また、以上の読み出し動作において、各磁気抵抗効果素子12A, 12Bのセンスワード線31の側の電流経路上に設けられているダイオード13A, 13Bは、電流がセンスワード線31から磁気抵抗効果素子12A, 12Bへと逆流することを防止している。

#### 【0103】

ここでは、ビット列Yn, ワード列Xnの各磁気抵抗効果素子12A, 12Bが、共通のセンスピット線21A, 21B、共通のセンスワード線31に接続されているため、センシング電流の一部は正規の経路を外れ、読み出し対象ではない磁気抵抗効果素子12A, 12Bを介して別の経路に流出してしまい、そのまま接地へ流れ落ちたり、再び正規の経路上に回り込んだりするおそれがある。それでもこうした配線構造をとるのは、記憶セル12の選択スイッチをビット方向, ワード方向とも列ごとに单一のスイッチで共用させ、配線を簡素化するためもあるが、ここでは、列ごとに定電流回路108Bを共用させるためである。

#### 【0104】

こうした正規の経路から外れて回路内を流れる電流成分、特に回り込み成分は、磁気抵抗効果素子12A(12B)を逆流する経路上に発生する。しかしながら、ここでは、一方向素子であるダイオード13A, 13Bにより、その経路が遮断される。

### 【0105】

図13は、本実施の形態に対する比較例として、ダイオード13A, 13Bが磁気抵抗効果素子12A, 12Bの電流経路上にない場合の漏れ電流の経路(i)と、回り込みの経路(ii), (iii)とを示したものである。同図においては、ビット列Y<sub>n</sub>, ワード列X<sub>n+1</sub>の記憶セル12が、いままさに情報が読み出されるセルである。すなわち、実線で示したのが正規の電流経路である。

### 【0106】

これに対し、センシング電流の一部は、例えば経路(i)のように、センスワード線31からワード列方向に隣接する磁気抵抗効果素子12A, 12Bに逆流し、さらにセンスピット線20n+1へ流れる。なお、同様の漏れは、同じセンスワード線31に共通に接続されている多数の磁気抵抗効果素子12A, 12B(図示せず)に対しても生じる。

### 【0107】

また、例えば経路(ii)のように、記憶セル12の低抵抗側の磁気抵抗効果素子12A(12B)を廻って回り込む経路が存在する。同図では、すべての記憶セル12において磁気抵抗効果素子12Aの方を低抵抗側として経路を図示している。この場合、センスピット線21Aをさらに下り、ビット列方向に隣接し、低抵抗である磁気抵抗効果素子12Aを通り、センスワード線31を介してさらにワード列方向に隣接する記憶セル12の低抵抗側の磁気抵抗効果素子12Aに逆流する。その後、正規の経路とは異なるセンスピット線21Aを、選択されたセンスワード線31に接続されている磁気抵抗効果素子12A(図ではビット列方向に隣接している)まで上がり、この低抵抗の磁気抵抗効果素子12Aに流入し、ついには選択されたセンスワード線31に流れ込む。同様の回り込みは、同じセンスピット線21Aに接続された多数の磁気抵抗効果素子12A(図示せず)、それらの磁気抵抗効果素子12Aと接続されたセンスワード線31と同じくする多数の磁気抵抗効果素子12A, 12B(図示せず)に対しても生じる。磁気抵抗効果素子12Bが低抵抗である場合にも、また同様にして回り込みが発生する。

### 【0108】

もう一つの回り込みの例としては、経路 (iii)がある。この場合、同じセンスピット線 21 A に接続されている磁気抵抗効果素子 12 A (低抵抗側) から磁気抵抗効果素子 12 B (高抵抗側) へと、磁気抵抗効果素子 12 A または磁気抵抗効果素子 12 B の一方を逆流することによって、ひとつの記憶セル 12 を通過する。さらに、反対側のセンスピット線 21 B を上がり、読み出し対象の記憶セル 12 の磁気抵抗効果素子 12 B から正規の経路へ回り込む。

#### 【0109】

こうした経路 (i)～(iii)はすべて、本実施の形態のように、各磁気抵抗効果素子 12 A, 12 B の電流経路上にダイオード 13 A, 13 B を設けることによって遮断することができる。このようにして、磁気抵抗効果素子 12 A, 12 B を介して電流が漏れたり、回り込んだりすることで生じるセンシング電流の変動すなわち信号に対する雑音を低減することができる。なお、各記憶セル 12 の磁気抵抗効果素子 12 A, 12 B の電流経路を 1 つのダイオードに接続させるようにした場合にも、経路 (i), (ii) を遮断することが可能であり、電流の漏れや回り込みに一定の効果が期待される。ただし、経路 (iii)を遮断するためには、本実施の形態のように記憶セル 12 の中で磁気抵抗効果素子 12 A, 12 B は非導通とされ、互いに独立して逆流防止が施される必要がある。

#### 【0110】

##### (逆流防止用ダイオードの変形例)

本実施の形態の逆流防止用ダイオード 13 A, 13 B は、同じく整流作用を有する素子であるトランジスタに置き換えることが可能である。図 14 に、そのような変形例として、磁気抵抗効果素子 12 A, 12 B とセンスワード線 31との間に逆流防止用トランジスタ 63 A, 63 B を設けた場合を図示している。この逆流防止用トランジスタ 63 A, 63 B は、ベース端子をビットデコード線 20 またはワードデコード線 30 に接続すると、センスピット線 21 A, 21 B もしくはセンスワード線 31 に連動して導通させることができる。なお、そうした場合、トランジスタ 22 A, 22 B はなくともよい。こうした逆流防止用トランジスタ 63 A, 63 B も同様に一方向素子として機能する。

#### 【0111】

逆流防止用トランジスタ63A, 63Bを用いることの利点は、導通時の電圧が、ダイオードの順方向電圧に比べてかなり低いことが挙げられる。トランジスタの導通時のコレクターエミッタ間電圧は非常に低い（およそ0.2V程度）が、ダイオードは順方向電圧としてバンドギャップΦ（0.65V～0.75V）の電圧がかかる。本実施の形態の読み出し回路では、電流経路が電源Vccから接地に向けて直列に、電流電圧変換用抵抗器23A（23B）、トランジスタ22A（22B）、磁気抵抗効果素子12A（12B）、逆流防止用ダイオード13A（13B）、トランジスタ33、電流制限抵抗器34の5段構成になっている。そのため、電圧配分を考慮する必要があるが、逆流防止用トランジスタ63A, 63Bは、逆流防止用ダイオード13A, 13Bに比べ、0.5V程度も低い電源電圧でも動作させることができる。また、この電圧の余剰分を振り分けるようにして、回路を5段から数段上げ、さらに複雑な制御操作を行うことまでも可能となる。

#### 【0112】

また、逆流防止用ダイオード13A, 13Bは、図15に示したように、逆流防止用MOSFET73A, 73Bに置き換えることも可能である。この場合、導通時のドレインーソース間電圧は0.1V程度とかなり低く、その作用効果は、逆流防止用トランジスタ63A, 63Bとほぼ同様である。

#### 【0113】

なお、これらの整流素子は、図16～図18に示したように、センスピット線21A, 21Bと磁気抵抗効果素子12A, 12Bそれぞれの間に設けられてもよい。

#### 【0114】

(センスアンプより後段の信号出力動作)

さらに、入力線40A, 40Bから取り出す電位差をセンスアンプ106Bにより差動増幅することにより（図2）、値が一層大きく、かつS/Nの良い出力が得られる。出力線51A, 51Bには、各ビット方向単位読出回路80（…, 80n, 80n+1, …）の多数のセンスアンプ106Bがコレクタ側でカスケード接続されているが、複数あるビットデコード線20の1つが選択されると同時に

にトランジスタ44が導通することによって、対応する1つのセンスアンプ106Bがアクティブとなり、そのコレクタ出力だけが出力線51A, 51Bに送出される。

### 【0115】

なお、ここでは、バイアス抵抗器42A, 42Bが共用されているので、電源(Vcc)から各センスアンプ106Bに供給される電流の経路が統一される。これは、センスアンプ106Bごとのトランジスタ41A, 41Bに流れる電流量の均一化に寄与し、出力値に対するオフセット量を安定化するように作用する。また、トランジスタ22A, 22B、抵抗器23A, 23Bおよびセンスアンプ106Bは、記憶セル12と同じ幅Wの領域内に集積配置されているため、これらのうち差動対をなす素子同士は、動作中の温度変化もほぼ等しくなる。これにより、温度変化によって生じる出力値の変動が抑えられる。

### 【0116】

センスアンプ106Bの出力は、出力線51A, 51B、読み出し用データバス112を経由して、最終的には出力バッファ102Bに入力される。出力バッファ102Bは、入力された信号電圧を、増幅すると共に2値の電圧信号として外部データ端子D0～D7から出力する。

### 【0117】

このように本実施の形態においては、磁気抵抗効果素子12A, 12Bは環状磁性層5を備えたものとしたので、効率よく書き込みを行うことができると同時に、第2の磁性層3の磁化方向を十分に揃えて情報を確実に書き込むことができる。翻って情報を読み出す場合、このように第2の磁性層3の磁化が所定方向に十分揃った状態であれば、第1の磁性層1との相対的な磁化方向によって、磁気抵抗効果素子12A(12B)におけるトンネル電流値もはっきりと大小の2値状態を示すことになり、S/N比の高い出力値が得られる。

### 【0118】

これに加え、ここでは、記憶セル12を1対の磁気抵抗効果素子12A, 12Bで構成し、双方に流れる電流を差動出力するようにしたので、センスピット線21A, 21Bに結合した雑音が除去される。そのうえで、センスワード線31

の接地側に定電流回路108Bを設け、読み出し回路に流れるセンシング電流の総和が一定に保たれるようにしたので、記憶セル12ごとの特性のばらつきに対し、センスピット線21A, 21Bの電流値の差は、常に一定の範囲内に収められる。このように総電流値を一定値に規格化することは、1対の磁気抵抗効果素子12A, 12Bの相互間の抵抗のばらつきに対しても、センスピット線21A, 21Bの各電流値の変動を押さえ込む効果を有している。よって、安定した差動出力を得ることが可能となり、読み出し信号のS/N比を向上させることができる。なお、定電流回路108Bのトランジスタ33は、ワードデコード線30の半導体スイッチとしても機能するようにしたので、比較的平易に製造でき、回路設計上も有利である。

#### 【0119】

また、各磁気抵抗効果素子12A, 12Bとセンスワード線31との間に、一方向素子としてダイオード13A, 13Bを設けるようにしたので、センスワード線31から磁気抵抗効果素子12A, 12Bへ電流が逆流することが防止される。これにより、共通のセンスピット線21A, 21Bまたは共通のセンスワード線31に接続された記憶セル12の間、および、1つの記憶セル12の中の磁気抵抗効果素子12Aと磁気抵抗効果素子12Bの間に電流経路ができることが防止され、センシング電流の漏れや回り込みが遮断するために、雑音を低減することができる。

#### 【0120】

さらに、本実施の形態では、センスアンプ106Bが出力線51A, 51Bに対しカスケード接続され、バイアス抵抗器42A, 42Bを共用するようにしたので、トランジスタ41A, 41Bに流れる電流量が均一化され、センスアンプ106Bごとの出力値に対するオフセット量を一定とすることができる。また、抵抗部品点数が低減されることで、漏れ電流（回路構成上、動作対象以外の部分にも定常的に流れる電流）による消費電力を低減することができる。さらに、この部品削減と、各センスアンプ106Bの出力線が一対の出力線51A, 51Bに統一されたことにより、回路の省スペース化が図られる。

#### 【0121】

加えて、センスアンプ106Bの回路エリアに、トランジスタ22A, 22B、および抵抗器23A, 23Bをセンスアンプ106Bと共に集積配置するようにしたので、センスアンプ106Bと共に差動増幅回路を構成し、対をなす回路素子が、互いに近接した位置に形成される。よって、これらの回路素子は、同様の温度条件で駆動されることから、温度変化による特性ばらつきが抑制され、この差動増幅回路における雑音を防止することができる。

### 【0122】

以上のように、本実施の形態の磁気メモリデバイスにおける読み出し回路では、記憶セル12ごとの特性のばらつきによる雑音、1対の磁気抵抗効果素子12A, 12Bの相互間の抵抗のばらつきによる雑音を低減させると共に、データ線に結合した雑音、センスアンプ106Bならびにその他の差動対の特性ばらつきによる雑音、電源回路から回り込む周辺回路の雑音を抑えるようにしたので、読み出し信号出力のS/N比を大きく向上、改善することができる。よって、この磁気メモリデバイスは、読み取り誤差の少ない安定した動作を行うことが可能である。また、S/N比向上により、大きな信号出力値を得ることができることから、記憶セル12を高集積化する場合にも十分な出力を得ることが可能であり、その一方で、低電流、低電圧の駆動を実現することも可能である。

### 【0123】

なお、一般に、磁気メモリデバイスでは、極薄のトンネルバリア層が絶縁破壊されるのを防ぐため、磁気記憶素子にトンネル電流を流すときには素子にかかる電圧を適切な値とする必要がある。本実施の形態の磁気メモリデバイスは、定電流回路108Bを備えることによって、トンネル電流を小さくし、トンネルバリア層2にかかる電圧をその電気的耐圧よりも十分に低い電圧まで下げて駆動することができる。また、本実施の形態の読み出し回路は、電流経路が電源Vccから接地に向けて直列に、電流電圧変換用抵抗器23A(23B)、トランジスタ22A(22B)、磁気抵抗効果素子12A(12B)、逆流防止用ダイオード13A(13B)、トランジスタ33、電流制限抵抗器34の5段構成になっている。その電圧分圧の関係から、これらの磁気抵抗効果素子12A(12B)における電圧降下を現実に0.1V～0.3V程度と低く抑えることができる。無論

、こうした場合に磁気記録素子12A, 12Bから直接的に得られる電圧出力（電流電圧変換抵抗23A, 23Bにおける電圧降下）は微弱なものであるが、センシング電流を定電流とした効果によりS/N比は高い。ここでは、この出力をさらに数段の差動增幅回路で増幅させて最終出力とするため、十分な読み出し感度を得ることができる。すなわち、この磁気メモリデバイスは、従来に比べ極めて微弱なトンネル電流で駆動させ、磁気抵抗効果素子12A, 12Bの絶縁破壊を防止すると同時に、値が十分に大きく、かつ良好なS/N比の信号出力を得ることが可能である。

#### 【0124】

##### [第2の実施の形態]

図19は、第2の実施の形態に係るセンスアンプの構成を示す図である。ここでは、第1の実施の形態のダイオード43, パソコン44, 抵抗器45からなる回路部分を、定電流回路50としてひとまとめにし、各センスアンプ106Bによって共用されるようにしている。なお、本実施の形態では、第1の実施の形態と同様の構成要素については同一の符号を付すものとし、その説明を適宜省略する。

#### 【0125】

各センスアンプ106Bでは、トランジスタ41A, 41Bがスイッチ46（..., 46n, 46n+1, ...) を介して1つの定電流回路50に共通に接続されている。すなわち、スイッチ46によってセンスアンプ106Bが1つ選択され、定電流回路50は選択されたセンスアンプ106Bの一部として動作するようになっている。

#### 【0126】

ここで、スイッチ46（..., 46n, 46n+1, ...) のそれぞれには、対応するビットデコード線20（..., 20n, 20n+1, ...) とリード選択信号線90とが接続されている。リード選択信号線90からは、この磁気メモリデバイスが読み出し動作と書き込み動作のいずれを行うかを選択するための読出／書込信号が送出され、スイッチ46は、ビットデコード値と、読出／書込信号の両方に応じて開閉動作するようになっている。例えば、読出／書込信号は、制御ロジック

部103に入力される、磁気メモリデバイスをアクティブにするか否かを制御するチップセレクト信号（CS）と、読み出し／書き込みを切り換えるための書き込み許可信号（WE）との論理和をとったものであり、リード選択信号線90は、制御ロジック部103からセンスアンプ106Bに引き出されている（図1参照）。

### 【0127】

すなわち、スイッチ46の開閉動作によって、読み出し回路系は、読み出し動作を指示された場合にのみ情報の読み出しを行い、さらに、情報を読み出す場合には、選択されたビット列Ynに対応するセンスアンプ106Bが動作対象に選ばれるようになっている。

### 【0128】

スイッチ46は、例えば、次のように構成されている。図20は、その構成を表したものであり、図21は、入力信号に対応したスイッチの動作状態を示している。スイッチ46は、ベース端子にリード選択信号線90が接続されたトランジスタ461と、ベース端子にビットデコード線20に接続されたトランジスタ462とから構成されている。このうち、トランジスタ462のコレクターエミッタ間が、トランジスタ41A, 41Bのエミッタ端子と定電流回路50におけるトランジスタ48との間に接続されている。さらに、トランジスタ461のコレクタ端子は電源（Vcc）に接続され、そのエミッタ端子は、トランジスタ462のエミッタ側に接続されている。このスイッチでは、トランジスタ461のベース入力電圧が“High”的ときの電圧値V1（読み出／書込選択信号の電圧値）、トランジスタ462のベース入力電圧が“High”的ときの電圧値V2（ビットデコード値の電圧値）とが、 $V1 - V2 > 0.3$ （Vol t）の関係にあるように設定される必要がある。これらの電圧値の調整は、ここではスイッチ46の前段で行われているものとし、詳細については説明の簡便のために省略する。

### 【0129】

このスイッチ46では、トランジスタ461のベース電圧が“Low”的ときは、トランジスタ461は遮断状態となることから、トランジスタ462の動作

、つまりトランジスタ462に入力される信号値に応じてスイッチ46としての導通／遮断が決まる。

#### 【0130】

一方、トランジスタ461のベース端子に“High”が入力されるときは、導通したトランジスタ461の動作が支配的となり、トランジスタ462のコレクターエミッタ間には、入力信号の如何に関わらず電流は流れないようになっている。つまり、この場合には、スイッチ46としては遮断状態となる。トランジスタ461が導通すると、そこにはトランジスタ462に流す電流よりも大きな電流が流れる（例えば $V_1 - V_2 > 0.3$  (Volt)）。また、電源(Vcc)から各トランジスタ461, 462までの経路をたどると、トランジスタ461側はトランジスタ462側に比べて圧倒的に抵抗値が高いことがわかる。したがって、トランジスタ462に“High”が入力されたとしても、電源(Vcc)から供給される電流はトランジスタ462ではなく、トランジスタ461に流れる。また、その場合に、接続点Pの電位（トランジスタ461, 462の共通のエミッタ電圧）は $V_1$ よりトランジスタ461のベースーエミッタ間の順方向電圧を引いた値となり、その結果、トランジスタ462のベースーエミッタ間に掛かる電圧は、トランジスタ462のベースーエミッタ間の順方向電圧より0.3V低くなり、トランジスタ462は電流が流れ難くなっている。

#### 【0131】

このように、スイッチ46は、トランジスタ461に“Low”が、トランジスタ462に“High”が入力されるときにのみ、導通する。したがって、この場合の読み出／書き込信号は、読み出しを指示するときは“Low”、書き込みを指示するときには“High”に設定される。なお、ここでのスイッチ46は、センスアンプ106Bにおけるトランジスタ41A, 41Bと定電流回路50との間を導通／遮断させるためのものであって、定電流回路50自体の動作を制限しないようになっている。

#### 【0132】

定電流回路50は、ダイオード47、トランジスタ48、抵抗器49によって構成され、ダイオード47のバンドギャップリファレンスを利用して一定電流を

作り出すようになっている。この定電流回路50は、第1の実施の形態において説明した定電流回路108Bと同様に作用し、トランジスタ41A, 41Bの双方を流れる電流量の総和を規定するようになっている。すなわち、センスアンプ106Bの差動出力値を一定の範囲内に抑えるように働く。また、このうちトランジスタ48は、ベース端子が定電流回路制御端子91に接続されたスイッチとしても機能するようになっている。

#### 【0133】

定電流回路制御端子91は、トランジスタ48を遮断状態にし得る電圧レベルの制御信号が入力されるようになっており、制御信号に応じて、定電流回路50を共用するセンスアンプ回路106Bのすべてをアクティブ状態か、スタンバイ状態かのどちらかの状態に制御することができる。

#### 【0134】

第1の実施の形態では、ダイオード43, トランジスタ44および抵抗器45からなる回路部分が定電流機能を有し、トランジスタ44はビットデコード値に応じて開閉することにより、個々のセンスアンプ106Bをアクティブにするか否かが制御されている。これに対し、本実施の形態では、定電流機能を定電流回路50が担い、ビットデコード値に応じてセンスアンプ106Bを選択するための開閉動作をスイッチ46が担うようになっている。なお、ここでは、スイッチ46が本発明の「第1のスイッチ」に対応しており、トランジスタ22A, 22Bが本発明の「一対の第2のスイッチ」に対応している。

#### 【0135】

このようなセンスアンプ106Bは、次のように動作する。

#### 【0136】

まず、読出／書き込み信号が、リード選択信号線90に入力される。この信号電圧値が“High”ならば書き込み動作が指示されており、スイッチ46は導通しない。この信号値が“Low”ならば読み出し動作が指示されており、スイッチ46の各々は、入力されるビットデコード値によって開閉する。

#### 【0137】

これらの各動作とほぼ同時に、記憶セル12のアドレスに対応するビットデコ

ード線20とワードデコード線30とが選択される。これにより、トランジスタ22A, 22B、およびトランジスタ33が通電状態となり、センスビット線21A, 21Bから読出対象の磁気抵抗効果素子12A, 12Bを通り、センスワード線31へとセンシング電流が流れる。その一方、複数並列したセンスアンプ106Bでは、このビットデコード線20からのビットデコード値が1つのスイッチ46に入力される。

### 【0138】

これにより、選択ブロックにおける1つのスイッチ46だけが選択的に導通し、選択されたスイッチ46に対応するトランジスタ41A, 41Bと定電流回路50との間が導通し、対応するセンスアンプ106Bが動作可能となる。すなわち、ビットデコード値で選択されたビット列に対応するセンスアンプ106Bのみが、しかも読出／書込信号によって読み出し動作が指示された場合にだけ、選択的にアクティブ化される。このようにして選択されたセンスアンプ106Bは、入力線40A, 40Bから取り出す電位差を差動増幅して出力線51A, 51Bに送出する。このとき、各センスアンプ106Bは、同一の定電流回路50を構成要素とするために、ビット列毎にあるセンスアンプ106B間における出力値のばらつきが抑制される。

### 【0139】

このように本実施の形態においては、複数並列するセンスアンプ106Bが、1つの定電流回路50を共用するようにしたので、部品点数を大幅に削減することができる。定電流回路50はトランジスタ48のベース端子に“High”の電圧が印加されれば、ビットデコード値で選択されたセンスアンプ106Bはアクティブ状態となり、電力を消費する。そのため、定電流回路の共用は従来の複数ある定電流回路で生じる不要な電力消費を削減することができる。さらに、電源(Vcc)から接地に流れ落ちる電流の経路は、読み出し時にのみ形成され、また、常に読出対象であるセンスアンプ106Bを通る1本の経路だけに絞られることから、読み出し動作をする回路部分以外での不要な電力消費を削減することができる。また、各センスアンプ106Bが同じ定電流回路50を共用することで、そのプロック内での特性ばらつきが解消され、各センスアンプ106Bに流

れる電流の総量が統一される。よって、トランジスタ41A, 41Bにおける電流増幅率のセンスアンプ106Bごとの変動が抑えることができ、センスアンプ出力を常に一定値とすることに寄与できる。

#### 【0140】

また、トランジスタ41A, 41Bの1つを定電流回路50に接続させるためにスイッチ46を設け、このスイッチ46を、ビットデコード値だけでなく読み出し／書込信号との論理和をとって動作するように構成したので、読み出し回路系は読み出し指令がある場合にのみ動作可能となり、さらに選択されたビット列Ynに対応する回路系だけが動作する。このように、スイッチ46に読み出し／書込信号を入力することにより、読み出し回路系全体を読み出し／書込信号に応じて動作させることができる。

#### 【0141】

また、トランジスタ48のベース端子に定電流回路制御端子91を接続し、制御信号を入力するようにすれば、トランジスタ48の開閉動作により、定電流回路50を共用するセンスアンプ106Bのすべての状態を一度に制御することができる。例えば、トランジスタ48が遮断されると、定電流回路50における電流消費が削減され、消費電力低減に寄与することができる。

#### 【0142】

以上のように、本実施の形態の読み出し回路系は、読み出し／書込信号、ビットデコード値、さらには定電流回路制御端子91の制御信号を含む3制御指令で動作する構成としたので、これら3つの制御信号がもつ条件をすべて満足しないと動作可能とならない。したがって、必要な回路以外は極力スタンバイ状態とされ、漏れ電流による電力消費を大幅に削減することができる。

#### 【0143】

(スイッチ46の変形例)

図22は、上記第2の実施の形態の変形例に係るスイッチの構成を示すものである。第2の実施の形態では、各センスアンプ106Bに対応してスイッチ46がそれぞれ設けられていたが、この変形例では、各スイッチ46の機能を1つのスイッチにまとめるようにしている。リード選択信号線90に接続されたトラン

ジスタ461は、1つだけ設けられているが、それぞれがビットデコード線 $20$  ( $\dots, 20n, 20n+1, \dots$ ) に接続されたトランジスタ462 ( $\dots, 462n, 462n+1, \dots$ ) は、各センスアンプ106Bに対応して複数設けられている。これらのトランジスタ461, 462は、エミッタ側がすべて共通接続されて並列するように構成されており、複数のトランジスタ462 ( $\dots, 462n, 462n+1, \dots$ ) がトランジスタ461を共用するようになっている。

#### 【0144】

その動作は、スイッチ46と同様である（図21参照）。トランジスタ461に“Low”（読み出し指令）が入力され、トランジスタ462 ( $\dots, 462n, 462n+1, \dots$ ) のいずれかにビットデコード値が入力されると、選択されたトランジスタ462が導通する。例えば、ビットデコード線 $20n$ よりビットデコード値 $Y_n$ が入力されると、トランジスタ $462n$ のみが導通し、ビット列 $Y_n$ に対応するセンスアンプ106Bがアクティブ化される。トランジスタ461に“High”（書き込み指令）が入力されたときには、トランジスタ462のいずれも、ビットデコード値が入力されたとしても遮断されたままとなる。

#### 【0145】

##### 【実施例】

###### 〔センスアンプによる増幅度の検証〕

上記第1の実施の形態と同様の実回路（図2参照）において、情報の読み出し中に、各測定点における電流値を電流プローブを用いて測定した。測定点は、図23に示したP1～P9の9点である。

すなわち、

測定点P1 … トランジスタ22Aのコレクタ端子

測定点P2 … トランジスタ22Bのコレクタ端子

測定点P3 … トランジスタ22Aのベース端子

測定点P4 … トランジスタ22Bのベース端子

測定点P5 … トランジスタ41Aのコレクタ端子

測定点P6 … トランジスタ41Bのコレクタ端子

測定点P7 … ランジスタ41Aのベース端子

測定点P8 … ランジスタ41Bのベース端子

測定点P9 … ランジスタ44のコレクタ端子

である。これらの電流値を、ビットデコード線20に印加するビットデコード電圧の値を変化させて測定した。

#### 【0146】

図24は、測定点P1～P4の測定結果を示している。実回路では、磁気抵抗効果素子12Aに接続される側でセンスピット線21Aに流れる電流は、ランジスタ22Aのエミッタ電流、つまりランジスタ22Aのコレクタ電流とベース電流の総和となる。測定結果からは、測定点P1のコレクタ電流が、測定点P3のベース電流を無視できる程度に大きいことがわかる。よって、ランジスタ22Aのコレクタ端とエミッタ端では流れる電流はほぼ等しいことがわかる。また、ランジスタ22Bに対する測定点P2のコレクタ電流と、測定点P4のベース電流との関係も同様であり、ランジスタ22Bのコレクタ端とエミッタ端では流れる電流はほぼ等しいことがわかる。

#### 【0147】

図25は、測定点P1～P9の測定結果を示している（図20とは縦軸の電流値のスケールが異なる）。電流電圧変換用抵抗器23A, 23Bに流れる電流は分岐して、それぞれ、ビット列選択用スイッチであるランジスタ22A, 22Bのコレクタ端子と、センスアンプ106Bの差動対であるランジスタ41A, 41Bのベース端子とに流れ込む。さらに、ランジスタ41A, 41Bのコレクタ電流、ベース電流の総和がそれぞれのエミッタ電流となるが、そのエミッタ電流は、共通の配線で合流してランジスタ44のコレクタ端子に流れ込む。

#### 【0148】

ランジスタ41A, 41Bのコレクタ電流は、各ベース電流（測定点P7, P8の電流）が増幅されて得られたものである。測定結果からは、測定点P5のランジスタ41Aのコレクタ電流と、測定点P6のランジスタ41Bのコレクタ電流の差分が、元の出力であるセンスピット線21A, 21Bの電流差に比

べて極めて大きいことがわかる。その電流差の比率は、図示の測定データの場合およそ200倍にも及ぶ。したがって、この磁気メモリデバイスでは、読み出し信号をこのようなセンスアンプ106Bで増幅することで、非常に大きな出力が得られることがわかる。

#### 【0149】

なお、測定結果からは、測定点P7, P8におけるトランジスタ41A, 41Bのベース電流も非常に小さいことがわかり、電流電圧変換用抵抗器23A, 23Bに流れる電流は、トランジスタ22A, 22Bのコレクタ端子に流れ込む電流とほぼ等しいといえる。よって、この読み出し回路において、センスアンプ106Bは磁気抵抗効果素子12A, 12Bの電流変化を忠実に増幅していることが確認できた。

#### 【0150】

##### 〔定電流回路の効果の検証〕

次に、実施の形態と同様の実回路において、磁気抵抗効果素子12A(12B)の抵抗ばらつきに対する読み出し信号(電圧)の変動を、2通りの場合に分けて調べた。

#### 【0151】

##### (記憶セル間の抵抗ばらつきに対する効果)

まず、各磁気抵抗効果素子12A, 12Bの低抵抗時の抵抗値( $R_L$ )、高抵抗時の抵抗値( $R_H$ )が、記憶セル12間で異なる場合について調べた。すなわち、それぞれ抵抗値 $R_L$ ,  $R_H$ が異なる記憶セル12からの読み出し電圧の出力値を測定した。ここで、記憶セル12ごとの抵抗値は、最大値と最小値で10倍近く変化させたが、各記憶セル12におけるMR比( $R_L/R_H$ )は25%固定とした。

#### 【0152】

図26は、その測定結果を表したものであり、横軸は高抵抗時の抵抗値 $R_H$ 、縦軸は電源電圧Vccで規格化した出力電圧値を示している。同図において、白丸が高抵抗時の抵抗値 $R_H$ をとった方の磁気抵抗効果素子12A(12B)からの出力電圧値を、×印が低抵抗時の抵抗値 $R_L$ をとった方の磁気抵抗効果素子12

B (12A) からの出力電圧値をそれぞれ表している。また、測定値は実線で結ばれており、点線で示したのは、電流を一対の磁気記憶素子に流し、その磁気記憶素子の電圧降下を直接的にセンスする構成の比較例における結果である。

### 【0153】

図示した結果からは、実施の形態の読み出し回路では、記憶セル12ごとの抵抗値がこれほど大きく異なっていても、抵抗値 $R_L$ の側からの出力電圧、および抵抗値 $R_H$ の側からの出力電圧は、それぞれほぼ一定値をとることが明らかである。よって、両者の差分である最終出力電圧も、記憶セル12ごとの抵抗値ばらつきによらず常に一定であることが確認できた。これは、実施の形態において説明したように、定電流回路108Bを設け、抵抗値 $R_L$ 、 $R_H$ をとる磁気抵抗効果素子12A、12Bに流れる電流の総和を規格化することの効果である。

### 【0154】

#### (比較例)

この実施例の比較例として、電流を一対の磁気記憶素子に流し、その磁気記憶素子の電圧降下を直接的にセンスする構成の読み取り回路にて、同様の測定を行った。図27に、比較例の等価回路図を示す。この読み取り回路は、一方が高抵抗、他方が低抵抗となって情報を記憶する1対の磁気記憶素子（可変抵抗 $R_1$ 、 $R_2$ として図示）の電圧の差分を読み取る方式をとり、対をなす磁気記憶素子の各々は電流源、セル選択用半導体スイッチに直列に接続されるが、この直列配線は互いに別途独立している。また、この場合には磁気記憶素子の電圧降下を $S$ 、 $/S$ として直接読み出しているために、電流電圧変換用抵抗器は用いられない。その測定結果は、図26に点線で示されている。このように、各磁気記憶素子に対する電流を一定とする回路では、磁気記憶素子の抵抗に比例して出力値が大きく変わる。よって、磁気記憶素子の抵抗ばらつき具合が、直ちに出力値に変動となって影響することになる。

### 【0155】

#### (磁気記憶素子間の抵抗ばらつきに対する効果)

次に、各記憶セル12で対をなしている磁気抵抗効果素子12A、12Bの間で、MR比がばらつく場合について調べた。ここでは、抵抗値 $R_H$ を固定し、抵

抵抗値 $R_L$  を変えることで各記憶セル12のMR比を変え、それぞれの出力電圧を測定した。

#### 【0156】

図28は、その測定結果を表したものであり、横軸はMR比（%）、縦軸は電源電圧 $V_{cc}$ で規格化した出力電圧値を示している。同図では、白丸が抵抗値 $R_H$ をとった方の磁気抵抗効果素子12A（12B）からの出力電圧値、×印が抵抗値 $R_L$ をとった方の磁気抵抗効果素子12B（12A）からの出力電圧値をそれぞれ表している。また、測定値は実線で結ばれており、点線は抵抗値 $R_H$ 、 $R_L$ それぞれの電圧に対する定電流効果によるオフセット基準値である。

#### 【0157】

図示の結果からは、実施の形態の読み出し回路では、抵抗値 $R_L$ 側からの出力電圧と、抵抗値 $R_H$ 側からの出力電圧は、MR比が小さくなるにつれ互いに漸近する傾向が見て取れる。つまり、各記憶セル12ごとにMR比がばらつくと、その影響が電圧出力にはこのような形で表れることがわかる。それでも、抵抗値 $R_L$ 側の出力電圧と、抵抗値 $R_H$ 側の出力電圧は、基準値を挟んでそれぞれ一定の範囲内に収まっている。この場合、MR比が15%程度以上あれば両者の差分は出力として十分であることから、同一の回路構成で定電流回路を設けない場合と比較しても、読み取り誤差が生じる可能性は少なくなっている。

#### 【0158】

また、こうした構成の回路一般に言えることであるが、磁気抵抗効果素子12A、12Bを流れる各電流は、総和が常に等しいことから、そのときの素子抵抗の比に応じ、常に総和の半分の値を中心とする上下に対称な値をとる。図28に点線で示したオフセット基準値は、まさにこの値を電圧に変換したものであり、その位置は電流の総和を変えない限り、不变である。そこで、センスアンプ106Bで差動増幅する際の閾値となる電圧レベルを、このオフセット基準値に合致させれば、センスアンプ106Bからは適正値の電圧出力が得られる。これも、定電流回路を付加したことの効果である。

#### 【0159】

なお、本発明は、上記実施の形態および実施例には限定されず種々の变形実施

が可能である。例えば、上記実施の形態においては、センスアンプ106B、定電流回路108B、およびトランジスタ22A, 22B等のスイッチング素子にバイポーラトランジスタを用いて構成するようにしたが、これ以外にもCMOS(Complementary MOS)等の半導体素子を用いて構成することができる。なお、スイッチ46のような2制御指令以上のスイッチは、MOSFETで構成してもよいが、論理ゲートで構成するようにしてもよい。

#### 【0160】

また、第2の実施の形態では、センスアンプ106Bの回路系は、スイッチ46に入力される2制御信号とトランジスタ48に入力される1制御信号によって制御されるように構成したが、スイッチ46を、これら3つの制御信号に応じて動作する3制御指令のスイッチに置き換えた回路構成とすることもできる。

#### 【0161】

また、上記実施の形態では、磁気抵抗効果素子12A, 12BをTMR素子であるものとして説明したが、本発明の磁気メモリデバイスにおける磁気抵抗効果素子は、2つで1単位情報を記憶する構成をとるものであれば、どのような種類のものであってもよい。例えば、やはり磁性層の積層面に垂直に電流を流す構造のCPP(Current Perpendicular to the Plane)－GMR素子に置き換えることもできる。その場合の素子構造は、非磁性層2を、絶縁層から非磁性金属層に替えることを除いては、上記の磁気抵抗効果素子12A(12B)と同様とすることができる。また、一対の磁気抵抗効果素子が、積層面に平行な方向に電流が流れる積層体を含む磁気抵抗効果素子(CIP(Current flows In the Plane)－GMR)であってもよい。

#### 【0162】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明の磁気メモリデバイスによれば、一対の磁気抵抗効果素子に読出電流を供給する読出線対と、読出線対を流れる一対の読出電流の差に基づいて記憶セルから情報を読み出すセンスアンプ回路とを備え、センスアンプ回路が、読出線対ごとに設けられた差動スイッチ対と、各差動スイッチ対と電源との間に設けられたバイアス抵抗器対と、複数の差動スイッチ対について共

通に設けられ、各差動スイッチ対を流れる一対の読み出電流の和を一定化する定電流回路とを含むようにしたので、定電流回路の特性が画一化され、差動スイッチ対ごとの電流増幅率のばらつきが抑えられる。これにより、センスアンプ回路から安定した差動出力を得ることが可能となり、読み出し信号出力のS/N比を向上させることができが可能となる。同時に、各センスアンプ回路に対応して設けられる複数の定電流回路を集約することから、部品点数を削減することができ、動作対象ではない回路部分に電流が流れることによる不要な電力消費を回避することができる。また、センスアンプ回路がこのような構成をとることにより、読み出し回路系では、電源から接地に流れ落ちる電流経路を1つのセンスアンプ回路を通じ1つの経路のみに限定することができ、不要な電力消費を削減することができる。

#### 【0163】

特に、複数の差動スイッチ対の各々と定電流回路との間にそれぞれ設けられ、複数の差動スイッチ対のうちのいずれか1つを選択する第1のスイッチと、電源と読み出線対との間に設けられ、読み出線対に読み出電流を供給するか否かを選択する一対の第2のスイッチとをさらに備えるようにすれば、第1のスイッチの開閉状態に応じて差動スイッチ対と定電流回路との間を導通／遮断させることができ、第1のスイッチに入力される制御信号によって選択されたセンスアンプ回路のみを動作可能とすることができる。したがって、センスアンプ回路を含む回路系に対し、第1のスイッチに入力される制御信号に応じた各種の動作制御を施すことが可能となる。また、センスアンプ回路が動作対象でない場合には、第1のスイッチが遮断されるように制御し、センスアンプ回路に電流が流れないようにすれば、そこに不要な電力消費が生じることが回避され、消費電力を低減することができる。

#### 【0164】

また、バイアス抵抗器対もまた複数の差動スイッチ対について共通に設けられているようにすれば、これらバイアス抵抗器対の特性も画一化され、センスアンプ回路ごとの出力値に対するオフセット量のばらつきを抑えると共に、差動スイッチ対における電流量の均一化に寄与する。したがって、読み出し信号出力のS

／N比を向上させることが可能となる。また、抵抗部品を削減することができ、不要な電力消費を回避することができる。

### 【0165】

さらに、一対の第2のスイッチ、一対の電流電圧変換用抵抗器および差動スイッチ対が、同一の領域内に集積配置されているようにすれば、対となる素子の各々は、近接して配置されることで環境温度がほぼ等しくなり、駆動中の温度変化によって互いの特性値がかけ離れていくことが防止され、これらの回路が適正な差動動作を行うことが保障される。よって、信号雑音の発生を防止することが可能となる。

### 【0166】

また、本発明のセンスアンプ回路によれば、読出線対ごとに設けられた差動スイッチ対と、各差動スイッチ対と電源との間に設けられたバイアス抵抗器対と、複数の差動スイッチ対について共通に設けられた定電流回路とを備え、読出線対を流れる一対の読出電流の差に基づいて記憶セルから情報を読み出すようにしたので、定電流回路の特性が画一化され、差動スイッチ対ごとの電流増幅率のばらつきを抑えることができる。これにより、読出線対ごとの差動出力を、どの線対からも安定して得ることが可能となり、読み出し信号出力のS/N比を向上させることが可能となる。また、差動スイッチ対に対応して設けられる定電流回路を集約することから、部品点数が削減されると共に不要な電力消費を回避することも可能となる。さらに、このセンスアンプ回路を適用した磁気メモリデバイスでは、駆動中の読み出し回路系における電源から接地までの電流経路を、1つのセンスアンプ回路を通る1つの経路のみに限定して形成することができ、不要な電力消費を削減することを可能とする。

### 【0167】

また、本発明の磁気メモリデバイスの読出方法によれば、読出線対ごとに差動スイッチ対を設け、各差動スイッチ対と電源との間にバイアス抵抗器対を設け、複数の差動スイッチ対について共通に定電流回路を設け、読出線対を流れる一対の読出電流の差に基づいて記憶セルから情報を読み出すようにしたので、読出電流は差動出力され、読出線の各々に生じる雑音や磁気抵抗効果素子ごとの出力値

に含まれるオフセット成分が除去される。その場合に、読出電流の差分を電圧差として差動増幅するセンスアンプ回路は、定電流回路を共用とすることで、定電流回路の特性ばらつきに起因するセンスアンプ出力のばらつきが抑えられる。よって、安定した差動出力を得ることができ、読み出し信号出力のS/N比を向上させることが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の第1の実施の形態に係る磁気メモリデバイスの全体構成を示すプロック図である。

##### 【図2】

図1に示した磁気メモリデバイスの記憶セルとその読み出し回路の構成を表す図である。

##### 【図3】

図2に示した読み出し回路のうち、センスアンプ全体の構成を説明するための回路図である。

##### 【図4】

図1に示した記憶セル群のY方向駆動回路部の周辺の実装の様子を表す構成図である。

##### 【図5】

図4に示したY方向駆動回路部の実際の回路配置を表す図である。

##### 【図6】

図5に示した単位駆動回路のうちセンスアンプ回路エリアのパターン配置図である。

##### 【図7】

図1に示した記憶セルの具体的構成を示す断面図である。

##### 【図8】

図1に示した磁気メモリデバイスの記憶セルとその書き込み用配線構造を表す図である。

##### 【図9】

図7に示した記憶セルの等価回路を表す図である。

【図10】

図7に示した記憶セルにおける情報記憶の方法を説明するための図である。

【図11】

図7に示した記憶セルにおける情報書き込み方法を説明するための図である。

【図12】

図1に示した磁気メモリデバイスにおける記憶セルからの読み出し動作原理を説明するための図である。

【図13】

図2に示した読み出し回路の比較例を説明するための回路図である。

【図14】

図2に示した読み出し回路における逆流防止用ダイオードの変形例に係る整流素子とその配置を示す図である。

【図15】

図2に示した読み出し回路における逆流防止用ダイオードの変形例に係る整流素子とその配置を示す図である。

【図16】

図2に示した読み出し回路における逆流防止用ダイオードの変形例に係る配置を示す図である。

【図17】

図2に示した読み出し回路における逆流防止用ダイオードの変形例に係る整流素子とその配置を示す図である。

【図18】

図2に示した読み出し回路における逆流防止用ダイオードの変形例に係る整流素子とその配置を示す図である。

【図19】

本発明の第2の実施の形態に係るセンスアンプの構成図である。

【図20】

図19に示したスイッチの一具体例を示す図である。

**【図21】**

図20に示したスイッチにおける入力制御信号と動作状態との対応を表す図である。

**【図22】**

図20に示したスイッチの変形例を示す図である。

**【図23】**

本発明の磁気メモリデバイスの実施例に係る読み出し回路の図である。

**【図24】**

図19に示した読み出し回路におけるビットデコード電圧と測定点P1～P4の電流測定値との関係を示す図である。

**【図25】**

図19に示した読み出し回路におけるビットデコード電圧と測定点P1～P9の電流測定値との関係を示す図である。

**【図26】**

図19に示した読み出し回路における磁気記憶素子の記憶セル単位の抵抗変動と出力電圧との関係を示す図である。

**【図27】**

図22に示した実施例に対する比較例の読み出し回路を説明するための等価回路図である。

**【図28】**

図19に示した読み出し回路における、対をなす磁気記憶素子間の抵抗変動と出力電圧との関係を示す図である。

**【符号の説明】**

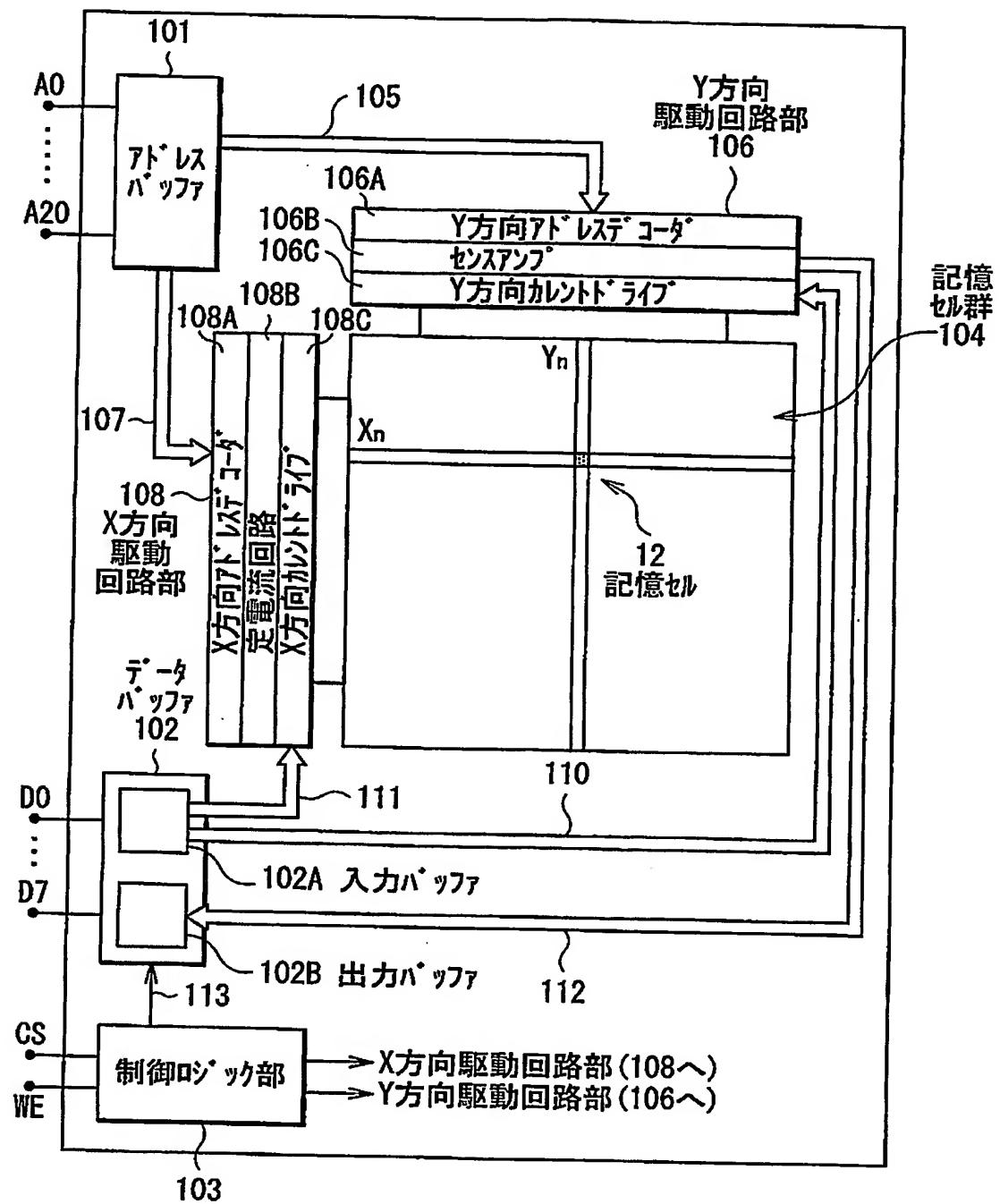
1…第1の磁性層、2…非磁性層（トンネルバリア層）、3…第2の磁性層、  
4…非磁性導電層、5…環状磁性層、6a…書込用ビット線、6b…書込用ワード線、  
7…絶縁層、8…導電層、9…エピタキシャル層、10…基板、11…読み出センシング用導線、  
12…記憶セル、12A, 12B…磁気記憶素子、13A, 13B…逆流防止用ダイオード、  
20…ビットデコード線、21A, 21B…センス用ビットデコード線（センスピット線）、  
22A, 22B…トランジスタ

、23A, 23B…電流電圧変換用抵抗器、30…ワードデコード線、31…センス用ワードデコード線（センスワード線）、32…ダイオード、33…トランジスタ、34…電流制限抵抗器、40A, 40B…センスアンプ入力線、41A, 41B…トランジスタ、42A, 42B…バイアス抵抗器、43, 47…ダイオード、44, 48…トランジスタ、45, 49…抵抗器、46…スイッチ、461, 462…トランジスタ、50…定電流回路、51A, 51B…センスアンプ出力線、63A, 63B…逆流防止用トランジスタ、73A, 73B…逆流防止用MOSFET、80…ビット方向単位読出回路、90…リード選択信号線、91…定電流回路制御端子、101…アドレスバッファ、102…データバッファ、102A…入力バッファ、102B…出力バッファ、103…制御ロジック部、104…記憶セル群、105, 107…アドレス線、106…Y方向駆動回路部、106A…Y方向アドレスデコーダ、106B…センスアンプ、106C…Y方向カレントドライブ、108…X方向駆動回路部、108A…X方向アドレスデコーダ、108B…定電流回路、108C…X方向カレントドライブ、109…記憶セル、110, 111…書き込み用データバス、112…読み出し用データバス、113…制御信号線、A0～A20…外部アドレス入力端子、D0～D7…外部データ端子、Xn…（記憶セル12の）ワード列、Yn…（記憶セル12の）ビット列、DUn…単位駆動回路。

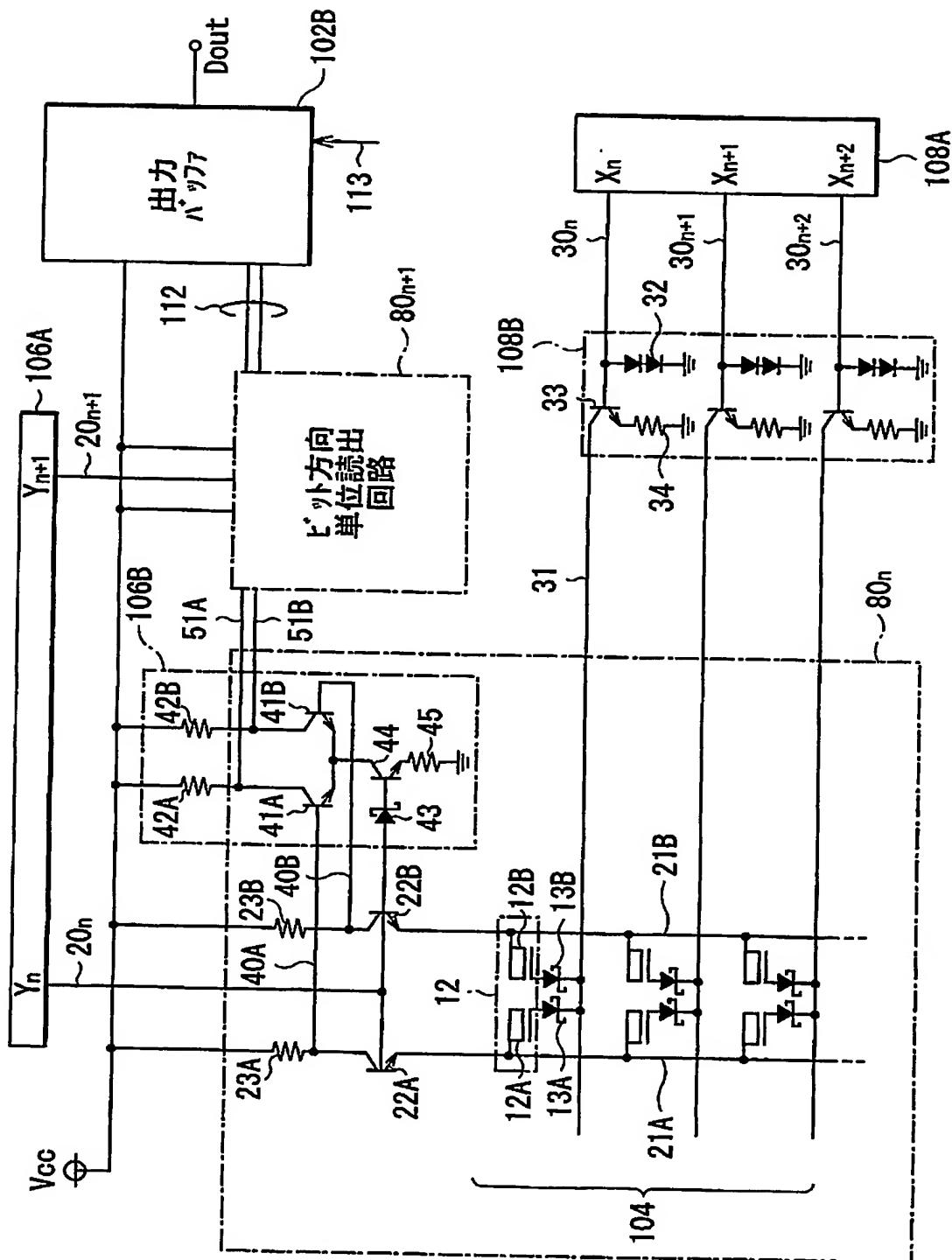
【書類名】

図面

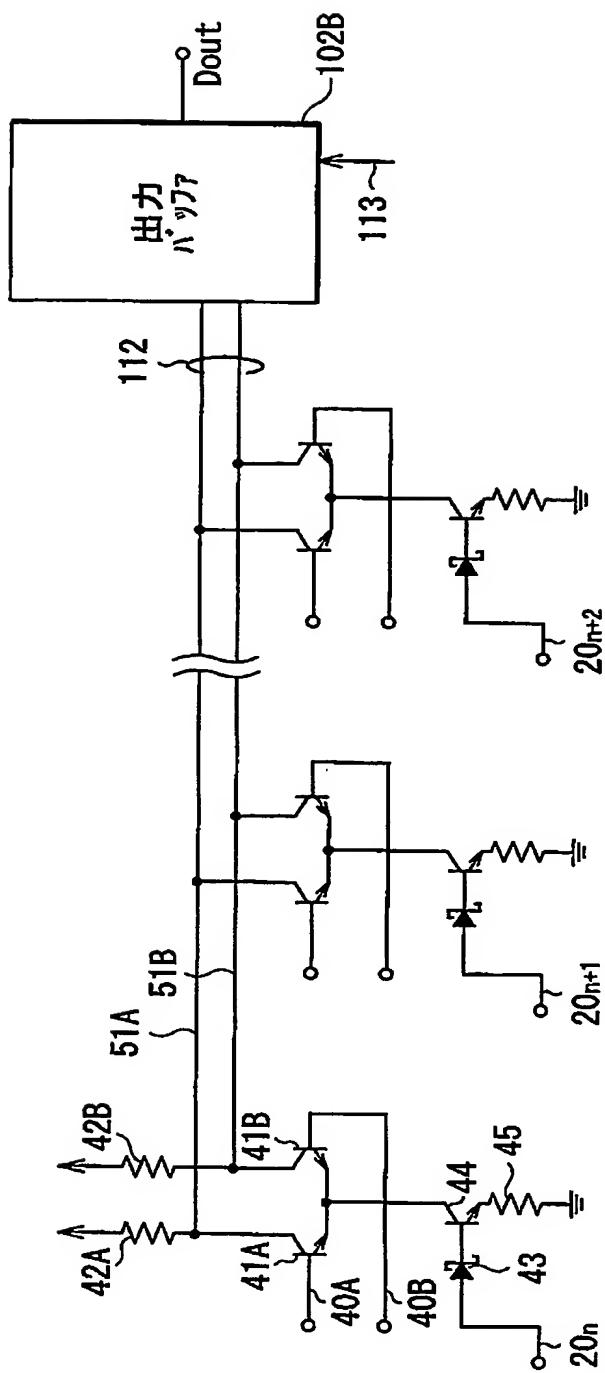
【図1】



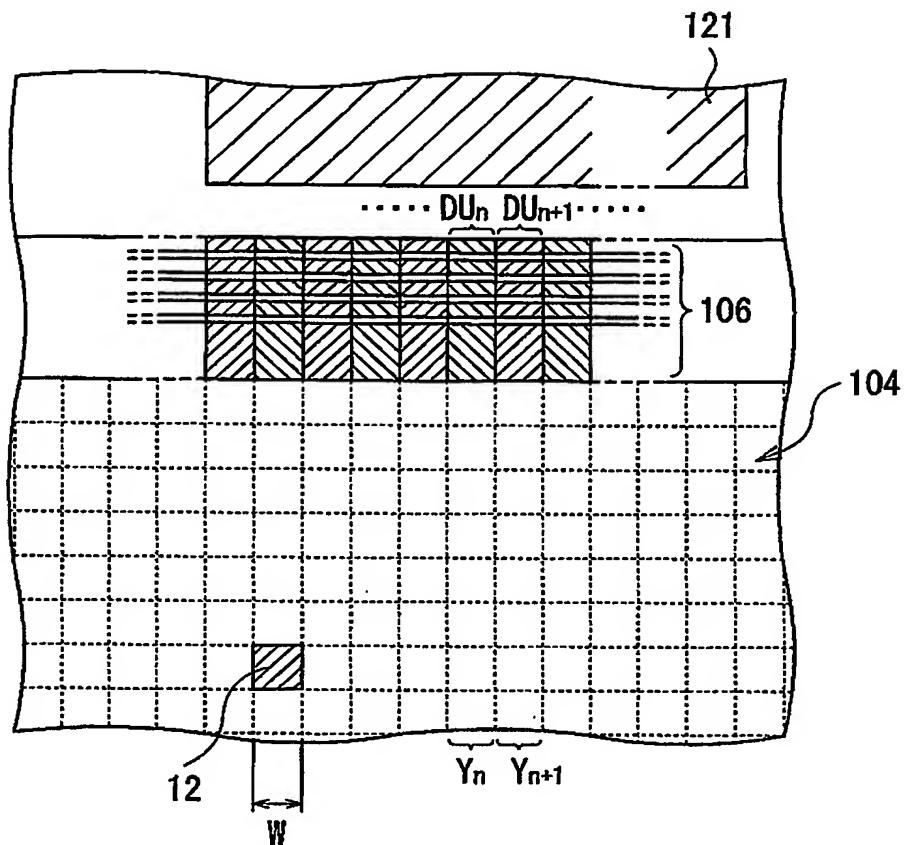
【図2】



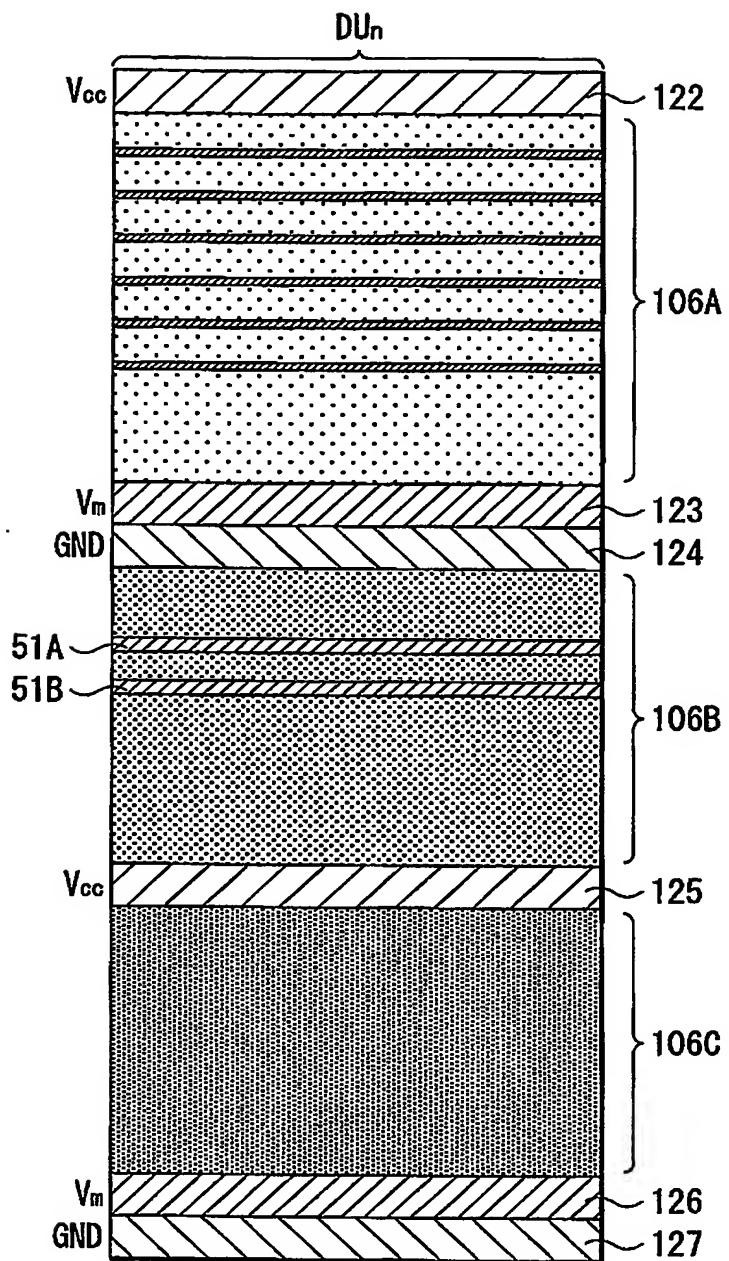
【図3】



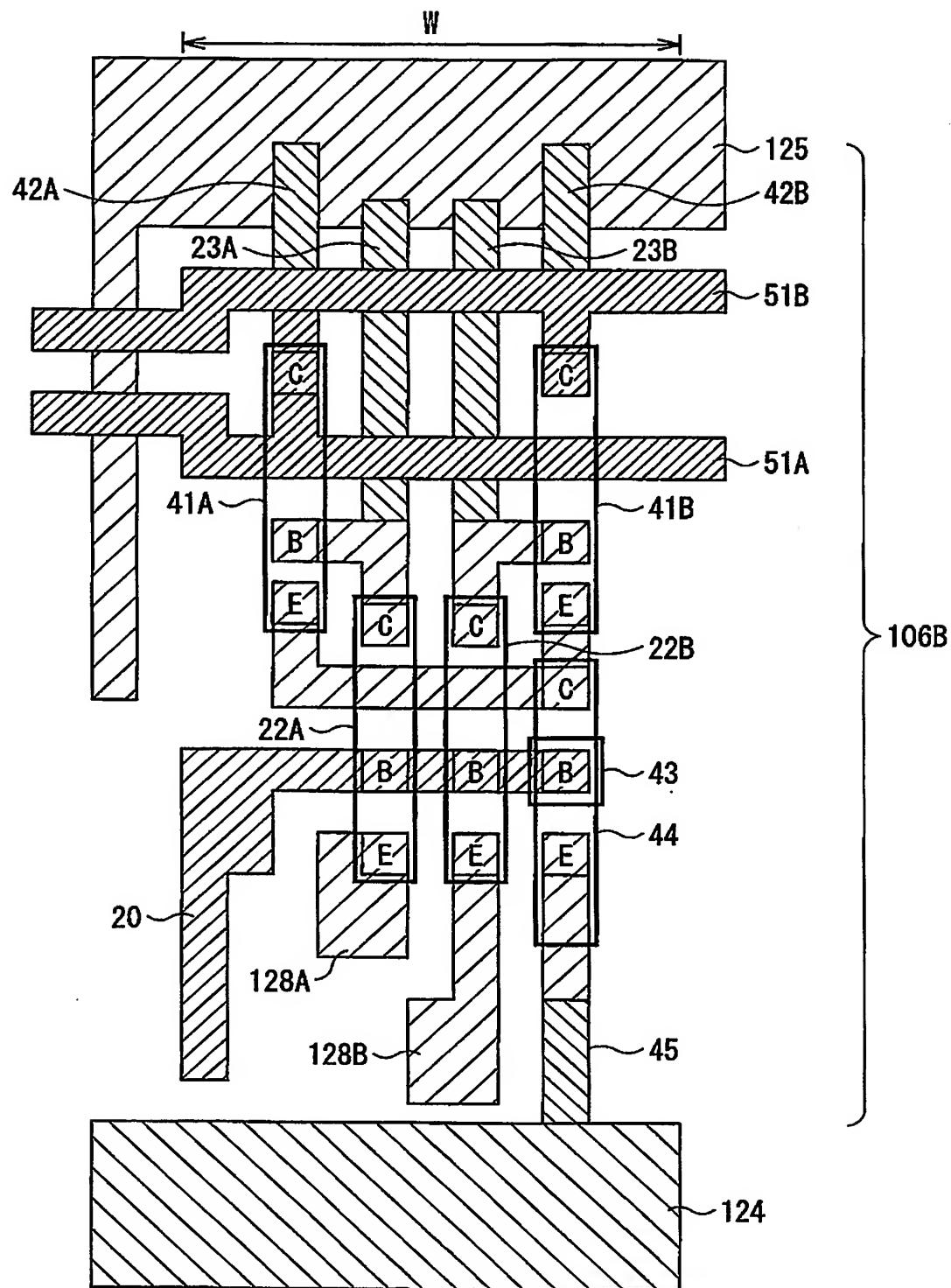
【図4】



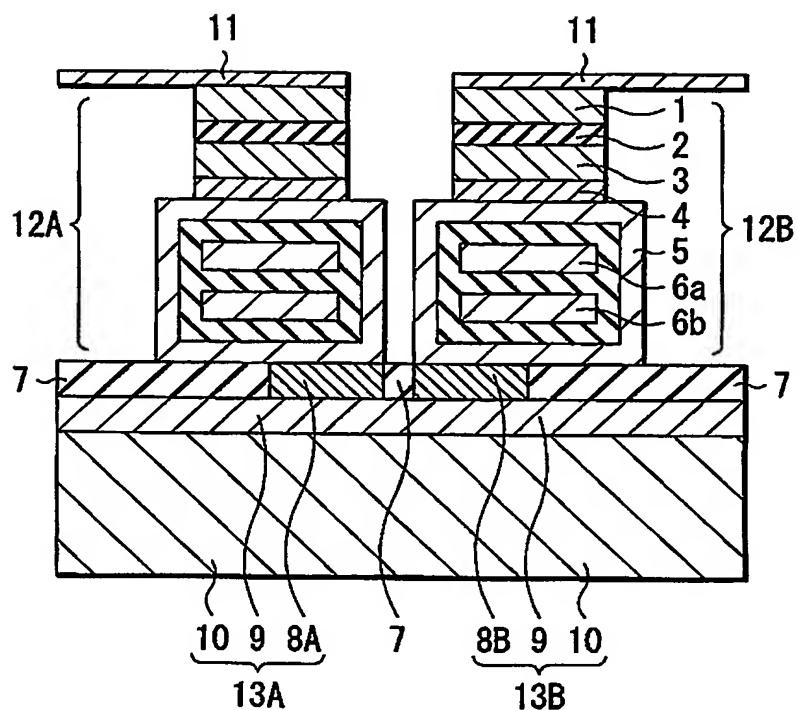
【図5】



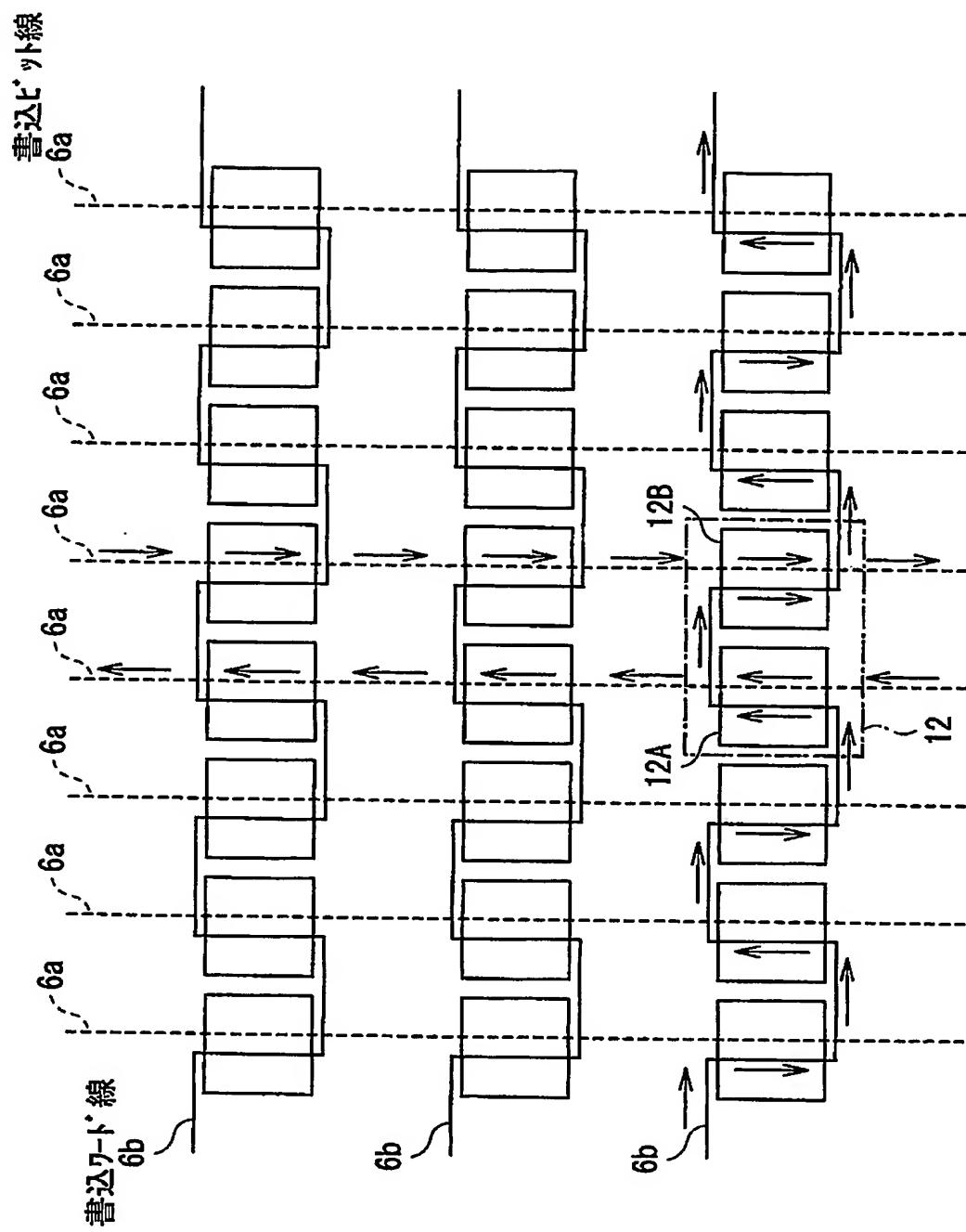
【図6】



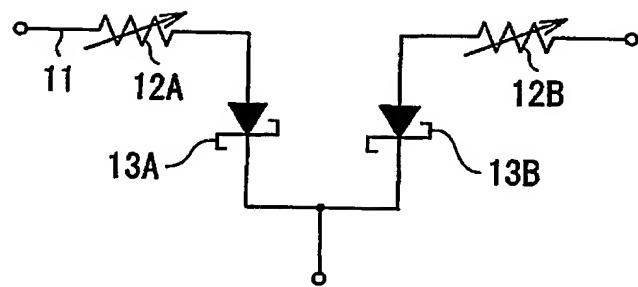
【図7】



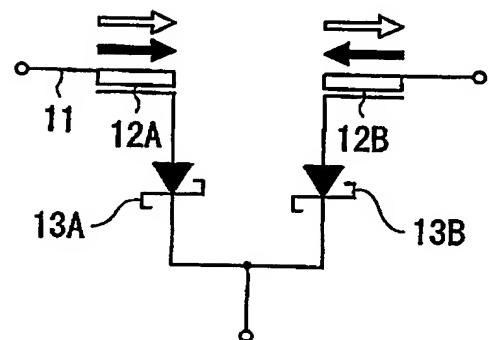
【図 8】



【図9】

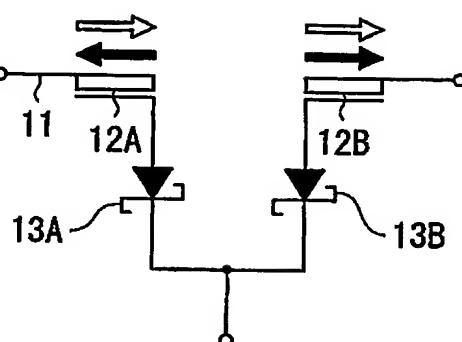


【図10】



「0」

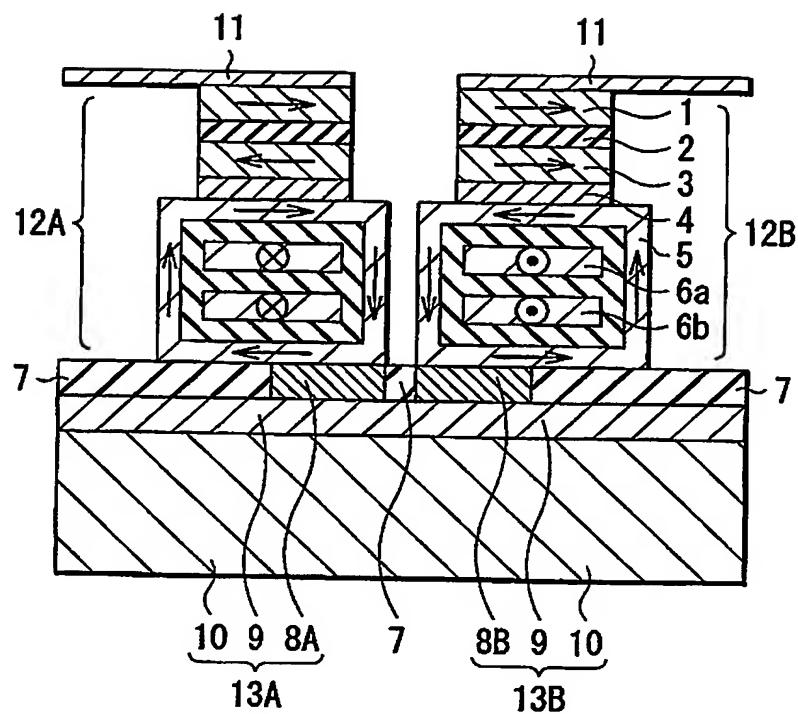
(A)



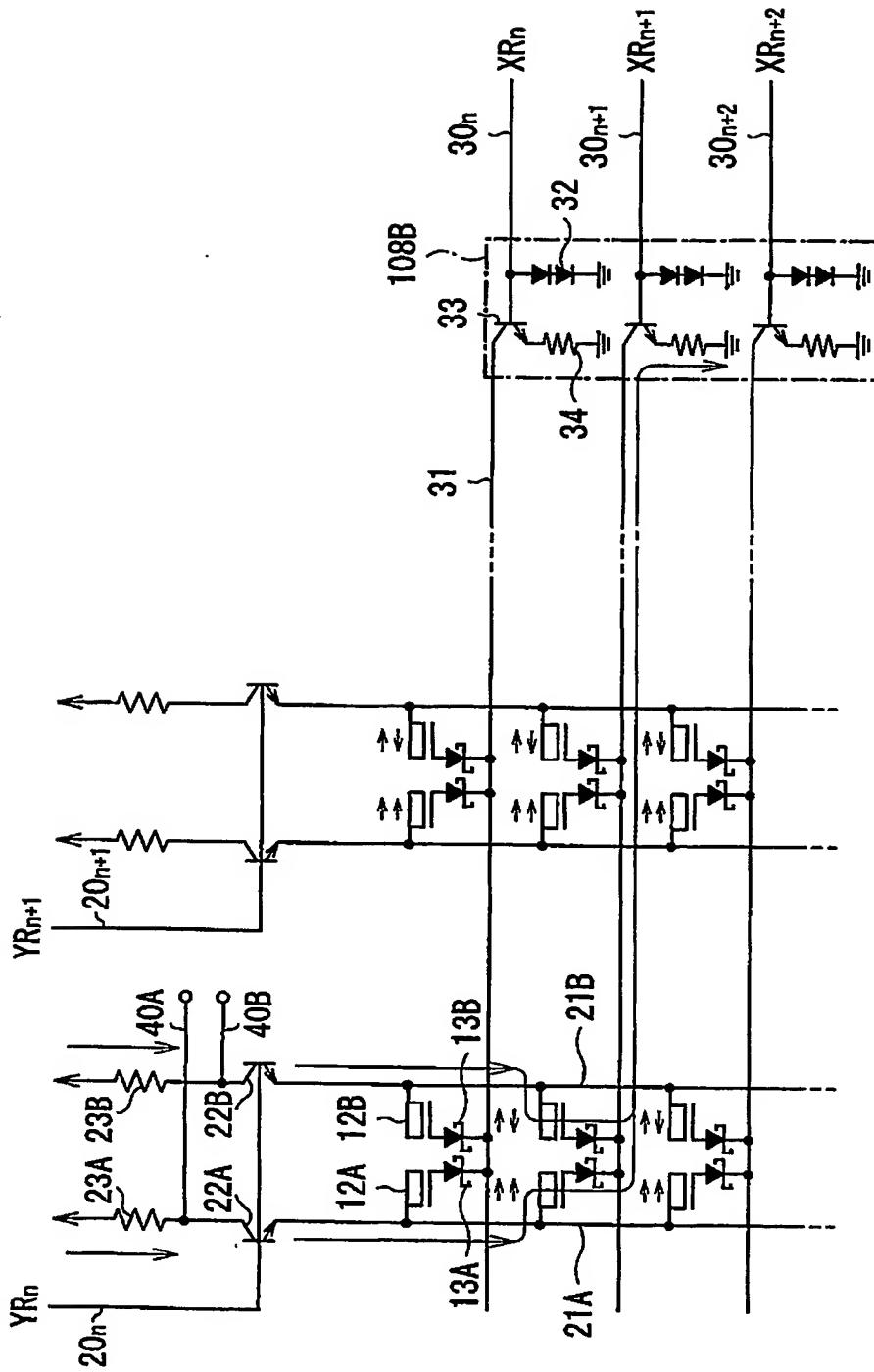
「1」

(B)

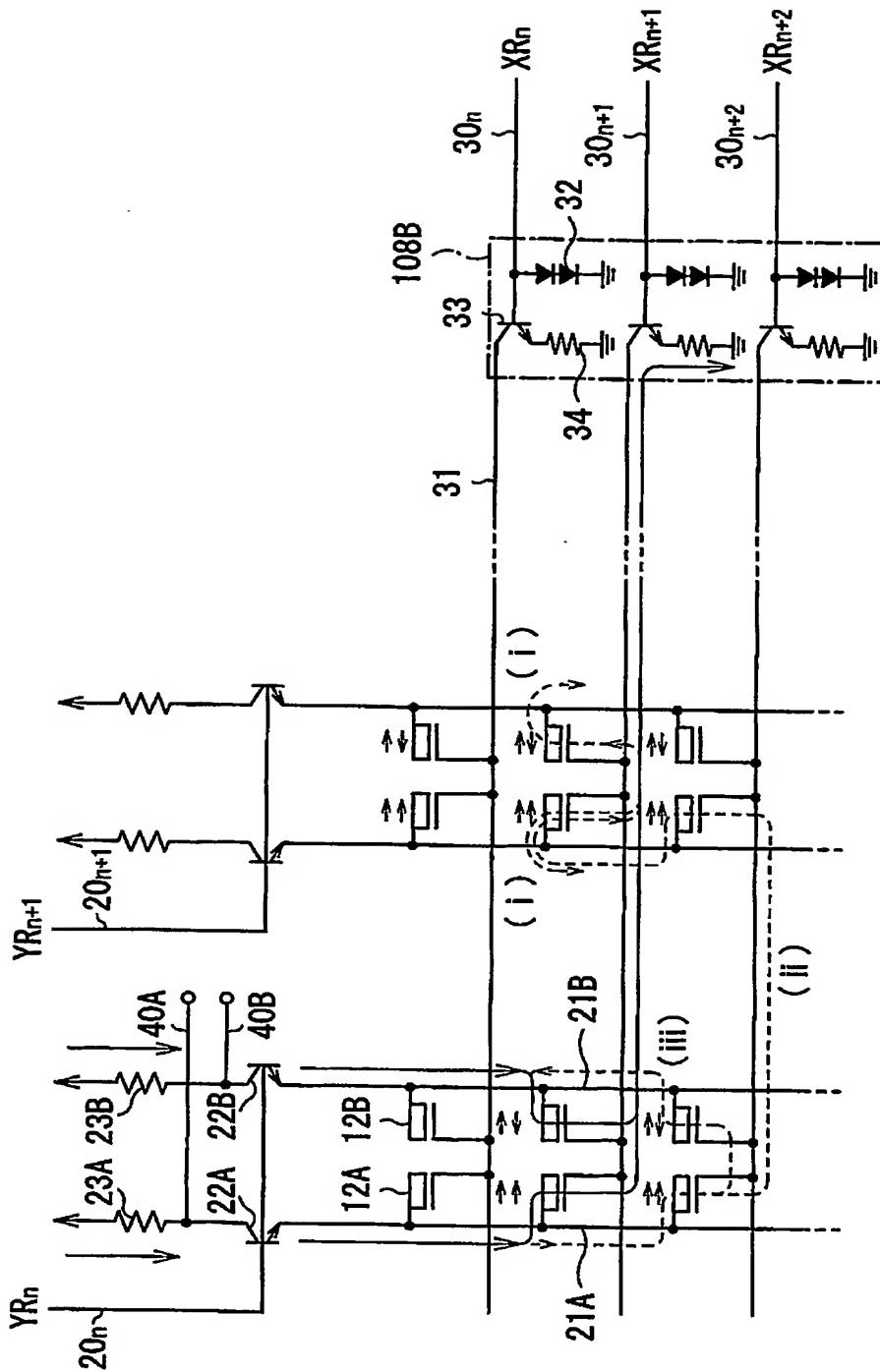
【図11】



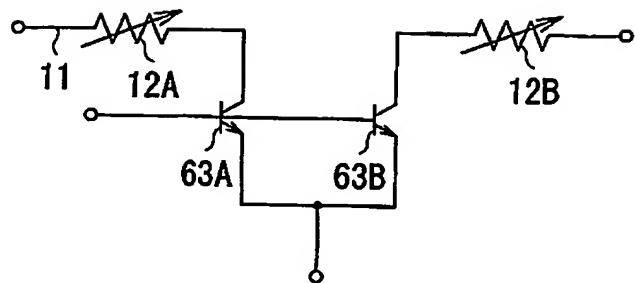
【図12】



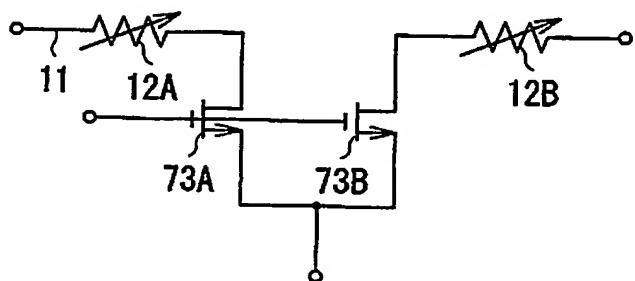
【図13】



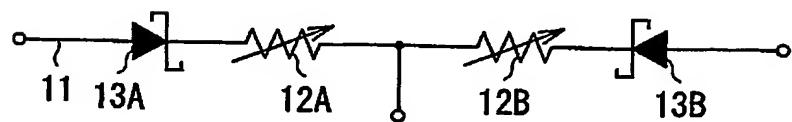
【図14】



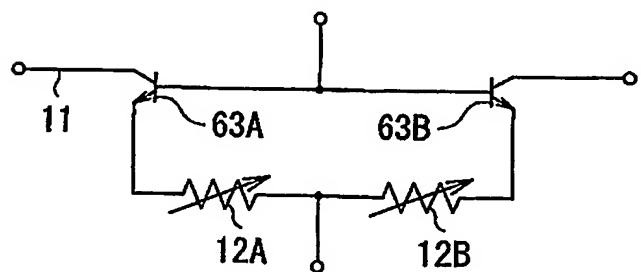
【図15】



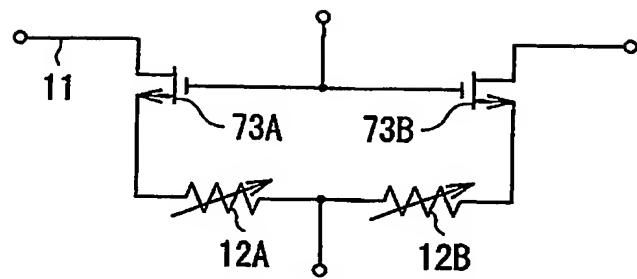
【図16】



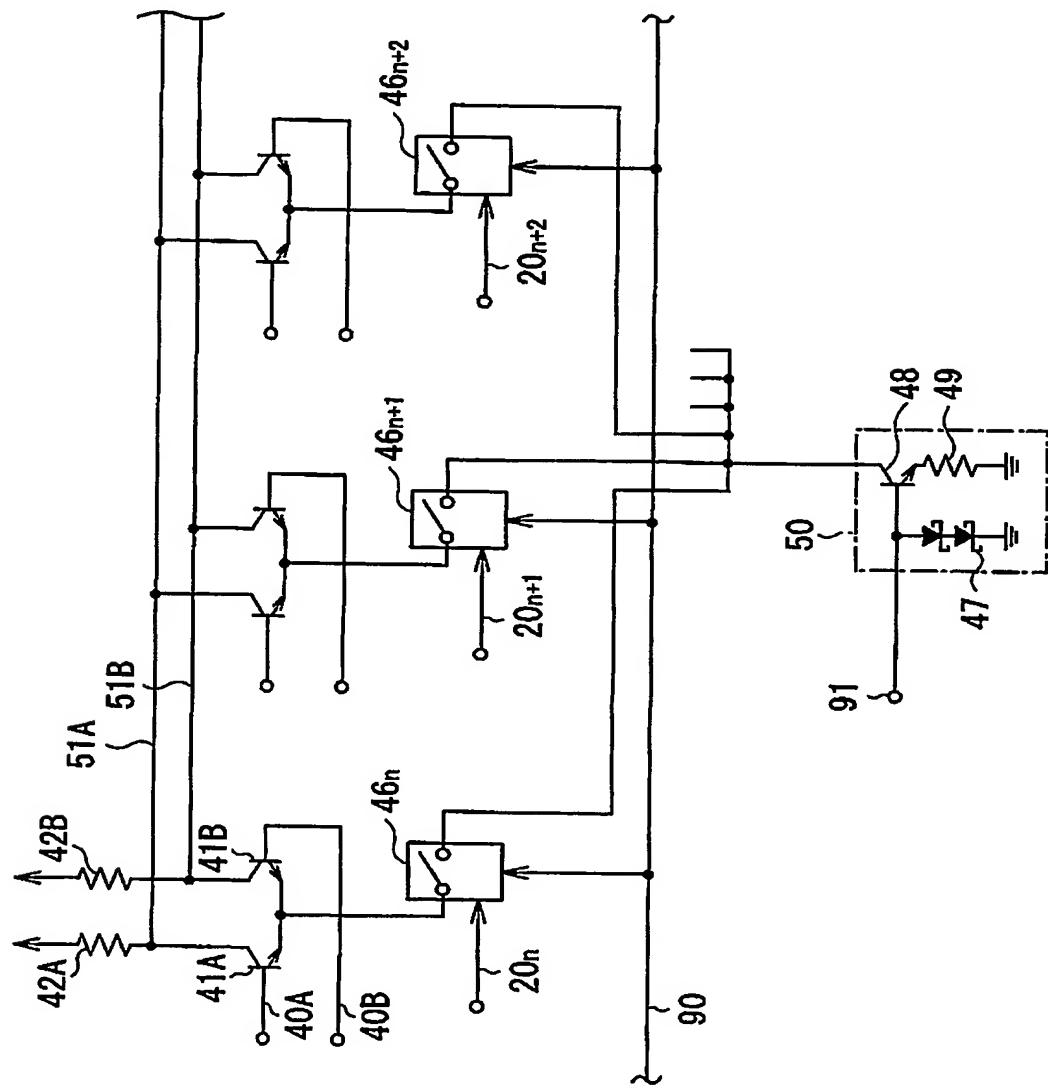
【図17】



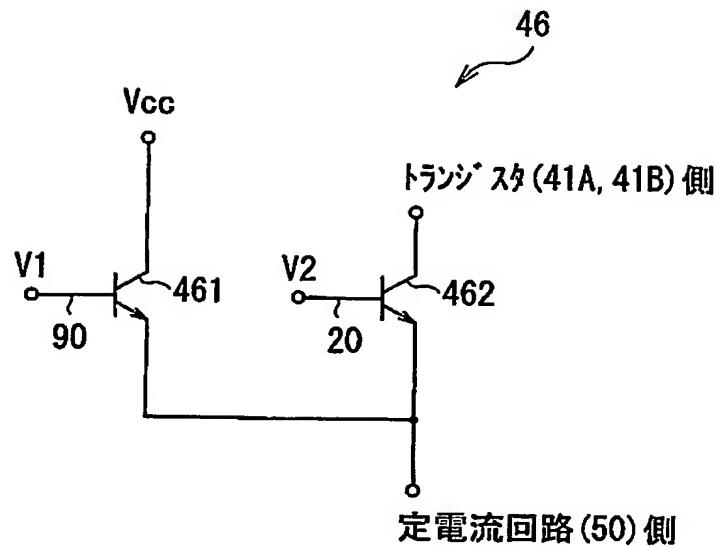
【図18】



【図19】



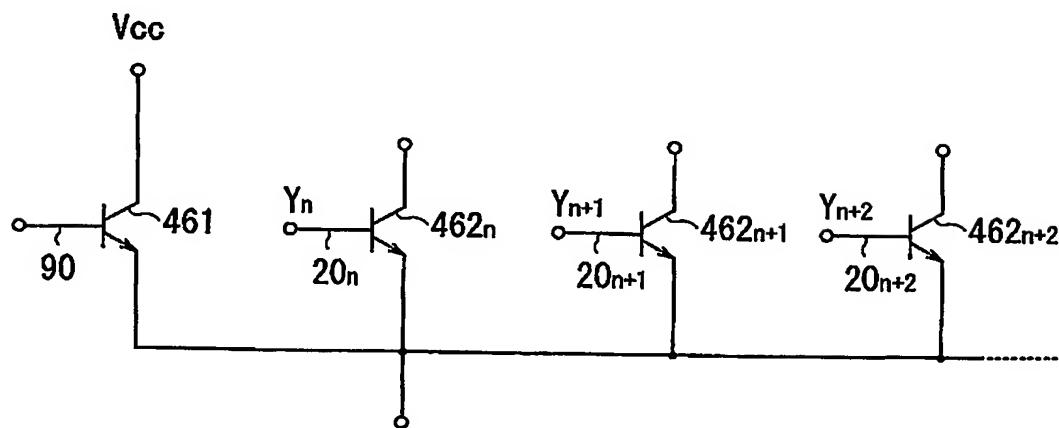
【図 2 0】



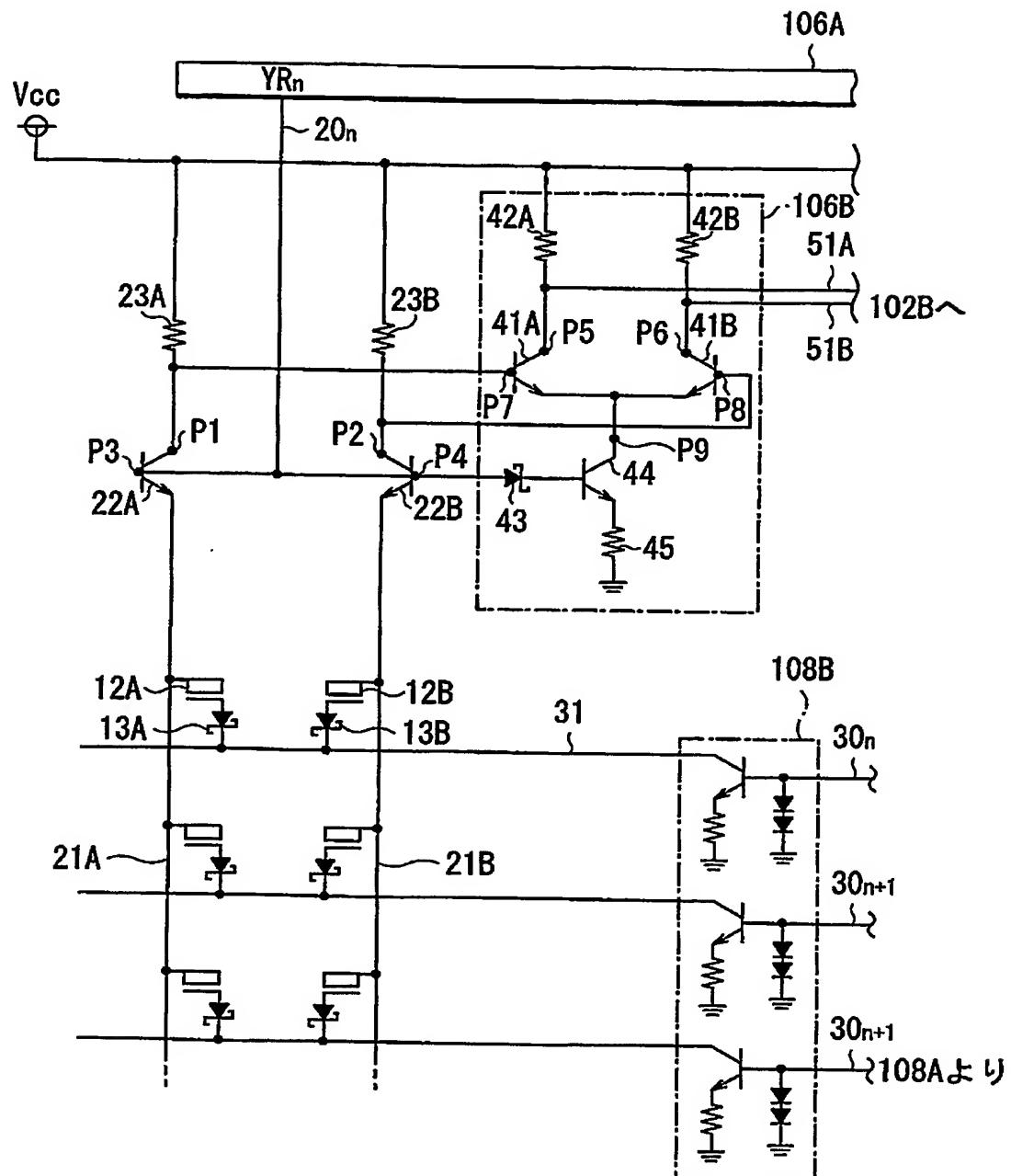
【図 2 1】

トランジスタ461	トランジスタ462	スイッチ46
L	L	OFF
L	H	ON
H	L	OFF
H	H	OFF

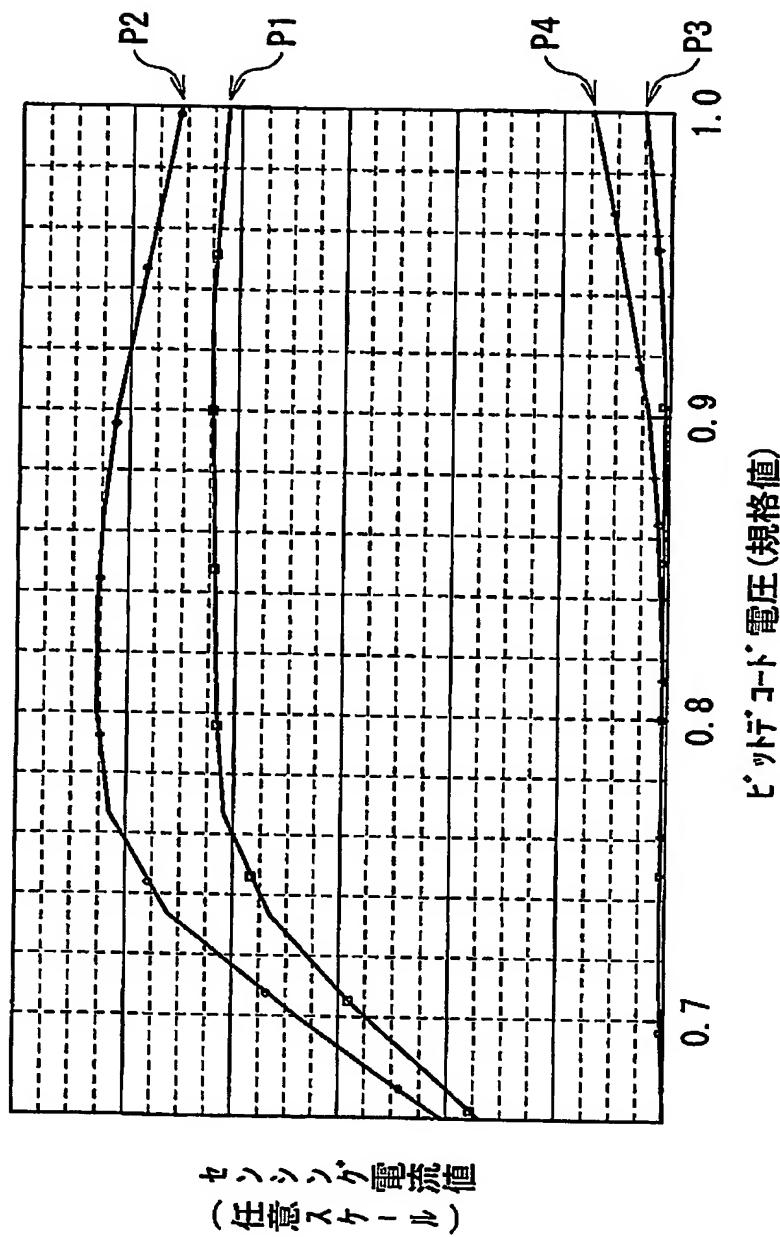
【図 2 2】



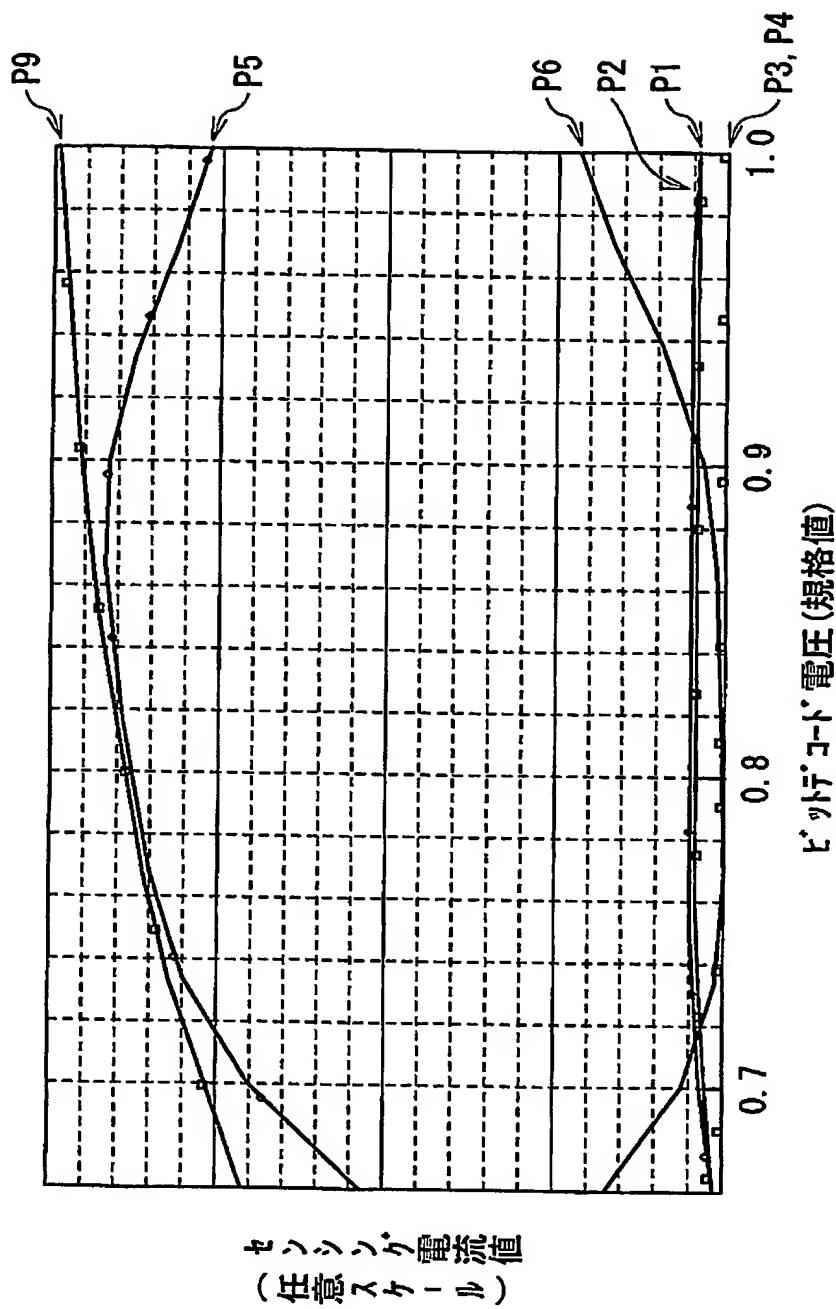
【図23】



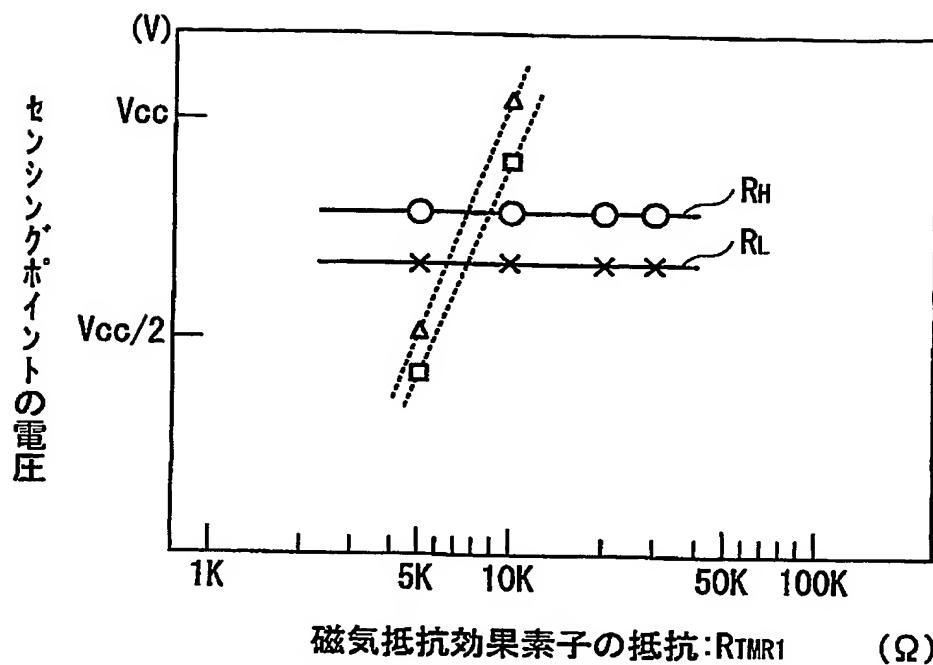
【図24】



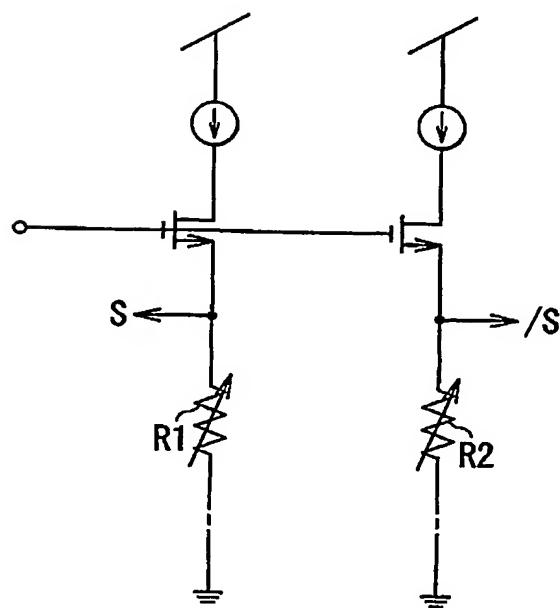
【図25】



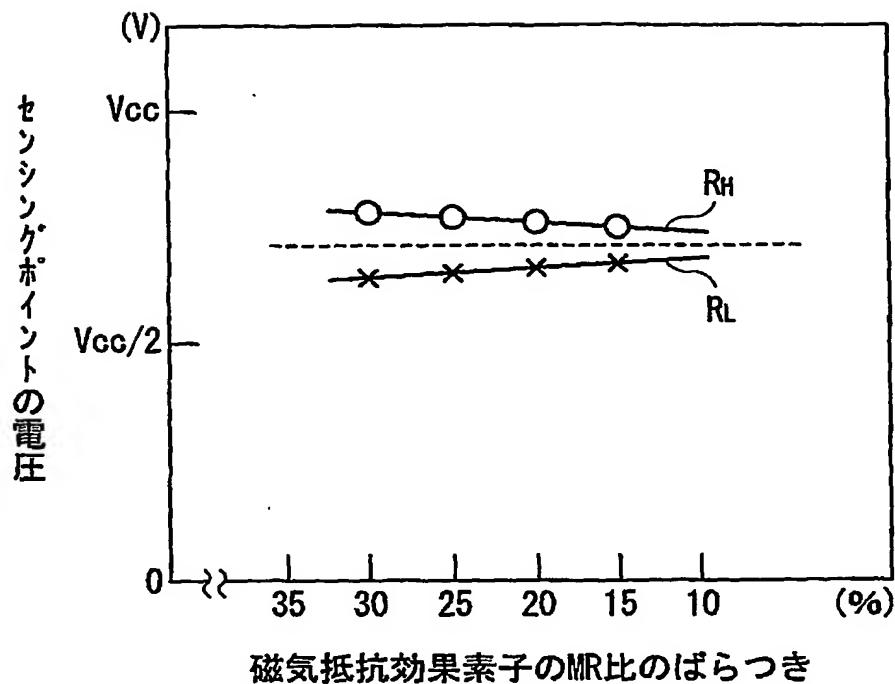
【図26】



【図27】



【図28】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 S/N比が高い読み出し信号出力を得ることができると共に、消費電力と回路スペースの削減が可能な磁気メモリデバイスおよびセンスアンプ回路、ならびに磁気メモリデバイスの読み出方法を提供する。

【解決手段】 センスアンプは、差動増幅器であるトランジスタ41A, 41Bがスイッチ46 ( $\dots, 46n, 46n+1, \dots$ ) を介して1つの定電流回路50に共通に接続されている。スイッチ46 ( $\dots, 46n, 46n+1, \dots$ ) のそれぞれには、対応するビットデコード線20 ( $\dots, 20n, 20n+1, \dots$ ) とリード選択信号線90が接続されている。リード選択信号線90からは読み出／書込信号が送出され、スイッチ46は、ビットデコード値と、読み出／書込信号の両方に応じて動作する。

【選択図】 図19

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願2003-081251
受付番号	50300474736
書類名	特許願
担当官	末武 実 1912
作成日	平成15年 4月 4日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

## 【特許出願人】

【識別番号】 000003067

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋1丁目13番1号

【氏名又は名称】 ティーディーケイ株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100109656

【住所又は居所】 東京都新宿区新宿1丁目9番5号 大台ビル2階

【氏名又は名称】 翼国際特許事務所

三反崎 泰司

## 【代理人】

【識別番号】 100098785

【住所又は居所】 東京都新宿区新宿1丁目9番5号 大台ビル2階

【氏名又は名称】 翼国際特許事務所

藤島 洋一郎

次頁無

## 出願人履歴情報

識別番号 [000003067]

1. 変更年月日 1990年 8月30日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都中央区日本橋1丁目13番1号  
氏 名 ティーディーケイ株式会社

2. 変更年月日 2003年 6月27日  
[変更理由] 名称変更  
住 所 東京都中央区日本橋1丁目13番1号  
氏 名 TDK株式会社